image
not
available

B 7
4
906
BIBLIOTECA NAZIONALE
CENTRALE - FIRENZE

Digitized by Google

Digitized by Google

A3. I. 32

L' UNIVERSO

LEZIONI POPOLARI

DI

FILOSOFIA ENCICLOPEDICA

e particolarmente di

ASTRONOMIA

e di

ANTROPOLOGIA

cioè: intorno ai principii fondamentali di tutte le Scienze, ed in particolare intorno al CIELO, ed all'origine e STORIA dell'UOMO.

DATE

NELLE PRINCIPALI CITTÀ D'ITALIA

DA

QUIRICO FILOPANTI

GIÀ PROFESSORE ORDINARIO DI MECCANICA E D' IDRAULICA

POSCIA LIBERO INSEGNANTE DELLE MEDESIME SCIENZE

NELL' UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Fasc. IV.

CONTENENTE LA FISICA DEL GLOBO E LA METEOROLOGIA

BOLOGNA, Agosto 1872

Stabilimento Tipografico di Giacomo Monti.

ELENCO DEI SIGNORI ASSOCIATI

– CONTINUAZIONE –

CESENA

Bacchiani Torquato
Barracchini Mauro.
Battistini Pio.
Belletti Giacomo.
Benzi Cesare.
Biblioteca Comunale.
Bardi Luigi.
Briani S.mone.
Collini Italo.
Comandini Avv. Alfredo.
Dominici Carlo.
Foschi Enrico.
Fumero Dottor Tullio.
Guidi Marchese Giacomo.
Lucchi Pio.
Morelli Prof. Pietro.
Mori Avv.
Presidenza del Liceo Monti.
Rambelli Virginio.
Saladini Conte Saladino.
Salvini Cesare.
Sugaresi Ing. Giovanni.
Turchi Gio. Battista.
Turchi Avv. Pietro.
Teodorani Avv. Pio.
Valzania Colonnello Eugenio.

CHIETI

Brunetti Vincenzo, Segretario di Prefettura.

COMACCHIO

Piancastelli Dottor Pietro.

FAENZA

Alberghi Napoleone.
Badini Sante.
Biblioteca Popolare.
Caldesi Lodovico.
Cattoli Vincenzo.
Chiarini Francesco.
Liverani Ferdinando.
Liverani Pietro.
Maluccelli Dottor Leopoldo.
Pompignoli Michele.
Quarneti Luigi
Ravaioli Prof. Pio.

FERRARA

Balboni Prof. Carlo.
Garagnani Avv. Raffaele.
Mazzanti, Ingegnere.

FIRENZE

Cevenini Antonio.
Gennarelli Prof. Achille.
Viglione Leopoldo.

FOGGIA

Negri Prof. Vincenzo.

FORLÌ

Amadio Avv. Camillo.
Barbiani Avv. Livio.
Biblioteca Comunale.
Bonavita Pompeo.
Brasini Avv. Giuseppe.
Colombani Diomede.
Danesi Antonio.
Dirani Gaetano.
Fortis Avv. Alessandro.
Fratti Antonio.
Golfarelli Ulisse.
Gaudenzi Torquato.
Maestri Ing. Francesco.
Mordani Prof. Filippo.
Pasqui Prof. Tito.
Piancastelli Pompeo.
Pio Ugo.
Quartaroli Livio.
Ravaioli Oreste.
Riatti Prof. Vincenzo.
Saffi Avv. Aurelio.
Strocchi Federico.
Umiltà Ing. Olindo.
Varoli Livio.
Zoli Emidio.

GENOVA

Bagnasco Nicolò.
Bardin Francesco, Chimico.
Barili Giulio Antonio.
Belloro Felice, Negoziante.
Bicchieri Vittorio.
Bo' Giacomo, Calzolaio.
Bocciardo F.
Bolla G. B. Bottaio.
Bozzo Prof. Avv. Pantaleo.
Brancaleone Francesco.
Bruzzone Domenico, Commerciante.
Bruzzone *Gio. Battista, Commerciante.*
Canepa Prof. Antonio
Canessa D. L.
Canzio Generale Stefano.
Casaccia Felice, Commerciante.
Cassiani Ingoni Cassiano.

L'UNIVERSO

LEZIONI POPOLARI

DI

FILOSOFIA ENCICLOPEDICA

e particolarmente di

ASTRONOMIA

DATE

NELLE PRINCIPALI CITTÀ D'ITALIA

DA

QUIRICO FILOPANTI

Volume II.

BOLOGNA

Stabilimento Tipografico di Giacomo Monti

1872

Digitized by Google

LEZIONE XXXX

L' Atmosfera Terrestre

Genova

NEL RIDOTTO DEL TEATRO CARLO FELICE.

Signori, e Signore,

La parola **Cielo** ha dei significati ben diversi fra loro, cui importa distinguere. La bellezza, la purità, e l'impareggiabile magnificenza dello spettacolo, offerto ai nostri occhi dal cielo naturale, condussero le menti degli uomini primitivi ad imaginare che la Divinità vi abbia la sua sede, e che le anime virtuose sieno destinate a trovarvi una vita felice, qual giusto compenso delle traversie e delle persecuzioni cui soffrono su questa terra. Perciò la parola cielo si adopera spesso in un senso figurato per accennare vagamente all'oggetto delle idee e dei sentimenti religiosi.

Nella scienza della Meteorologia, egualmente che nel linguaggio comune del popolo, il cielo è l'aspetto cui ci presenta l'atmosfera, sotto la forma di una leggiadra volta, la quale, per lo più serena e trasparente, ci lascia scorgere al di là di essa il *vero cielo*, il cielo degli astronomi, cioè i lucidi corpi celesti situati ad enormi distanze da noi; tal altra fiata però colla sua nebulosità ce li

nasconde. Insomma nel linguaggio dell'Astronomia il cielo è il complesso dello spazio che circonda la terra e la sua atmosfera, con tutti i corpi che in quell' immenso spazio esistono.

Il mio speciale còmpito, nelle prossime lezioni, sarà di parlarvi del cielo nel senso astronomico. Ciò nondimeno, siccome non è dato all' Astronomo di osservare il vero cielo se non attraverso all'atmosfera, cioè attraverso al cielo delle meteore, e poichè ben anche per questa speciale cagione non potei dare nell' annunziato giorno la mia prima lezione in luogo aperto, dove avrei potuto immediatamente farvi osservare gli astri di cui io voleva trattare, così stimo opportuno di dedicare questa per voi prima mia lezione a spiegare in succinto alcune delle più fondamentali nozioni di Meteorologia, quasi introduzione alle lezioni popolari di Astronomia propriamente detta.

Si chiamano *meteore* i fenomeni od apparenze che si producono nell'aria od atmosfera: e quindi si chiama *Meteorologia* la scienza che tratta di tali fenomeni. Si sogliono distinguere le meteore in quattro classi: meteore aeree, come il vento, gli uragani, le trombe; meteore acquee, come la rugiada, la nebbia, le nuvole, la pioggia, la neve, la grandine: meteore elettriche, come il baleno, il tuono, il fulmine; ed infine le meteore luminose, come l' arcobaleno, il parelio, la fata Morgana, l' aurora boreale.

La Meteorologia è giunta al grado di spiegare discretamente bene i grandi fenomeni di cui ella tratta, ma, sfortunatamente, non ha ancora raggiunto quella più desiderabile meta di poter predirli in anticipazione. Guardatevi, o Signori, dal prestar fede ai pronostici del tempo buono e cattivo, ordinariamente contenuti nei lunarii, od almanacchi volgari. Sappiate che tali predizioni sono da mettersi in fascio con quelle dei numeri del lotto: elleno sono mere ciarlatanerie ed imposture. Ma forse dirà al-

Digitized by Google

cuno: si verificano pure appuntino le predizioni dei lunarii intorno alle fasi della luna ed alle ecclissi: qual meraviglia adunque che si possano verificare le loro predizioni intorno al sereno od alla pioggia? Risponderò che i movimenti della luna e della terra, e le ecclissi che ne sono la conseguenza, dipendono da leggi costanti, le quali si verificano sopra una scala grandiosa, ma sono di una sufficiente semplicità perchè la mente umana, a forza di attenzione e di calcolo, possa averle scoperte: ma le leggi che governano le meteore hanno una sì grande complicazione, ed una natura realmente od apparentemente così capricciosa, che è stato sinora impossibile afferrarne il bandolo. Solamente da poco tempo, si è trovato il modo di poter formare delle osservazioni meteorologiche contemporanee, comunicate reciprocamente per mezzo del telegrafo dagli osservatorii meteorologici sparsi per l'Europa e per l'America, e trarne una probabilità, non già la certezza, dello stato meteorologico di un dato paese, per uno o due giorni in anticipazione.

E non crediate, o Signori, che gli ordinarii compilatori degli almanacchi abbiano almeno tanto di scienza propria da calcolare e predire i precisi momenti delle fasi lunari e delle ecclissi. Sono i veri astronomi quelli che applicansi a tali laboriosi calcoli, comunicanseli e rettificano a vicenda, per mezzo delle loro effemeridi, nelle quali al certo non troverete le predizioni del buono o del cattivo tempo. I compilatori di lunarii poi fansi dare un estratto di quei calcoli dagli inservienti degli osservatorii astronomici, o, se sono da tanto, ne fanno essi medesimi l'estratto dalle effemeridi astronomiche che sono sempre pubblicate uno o più anni in anticipazione. In questo, gli autori dei lunarii compiono opera lecita, anzi lodevole: ma allorchè, abusando della credulità ed ignoranza popolare, vi aggiungono del proprio le

predizioni della pioggia e del sereno, essi commettono scientemente un atto di impostura, e meritano biasimo e disprezzo. È giustissima l' osservazione fatta da Agostino Cagnoli, che l' Astronomia è la sola scienza, alla quale sia dato di predire con certezza il futuro. Ma queste predizioni si riferiscono soltanto ai movimenti dei corpi celesti, e non già menomamente agli eventi umani.

Nei secoli in cui l' ignoranza era ancora più grande e più generale che oggi non è, si credette in buona fede, anche da uomini relativamente dotti, che le sorti dei viventi dipendessero dalle stelle e dai pianeti, sotto la cui influenza si supponeva che ciascuno fosse nato. Oggigiorno una tale supposizione viene meritamente rilegata nel nòvero delle più ridicole ed assurde superstizioni. Nessun astro esercita alcun' influenza morale sugli uomini. Un solo fra essi esercita sopra di noi e sopra tutta la natura attorno a noi, una potentissima influenza fisica; ed è il Sole. La luna pure esercita una qualche influenza fisica, molto meno forte di quella del Sole, ma pure certa, e sensibilissima nel grande fenomeno del flusso e riflusso del mare. Probabilmente ella esercita ancora qualche altro influsso fisico sopra le cose terrestri, ma di gran lunga meno sensibile ed importante di quello cui ella esercita sulle maree. Pochi altri fra i più grossi e più vicini pianeti, come Venere, Marte, Giove e Saturno, hanno pure un' azione fisica sul nostro pianeta, ma incomparabilmente meno forte di quella del Sole e della luna; e quell' azione dei pianeti si fa sentire esclusivamente nella oscillazione dell' asse terrestre, e nelle piccole perturbazioni cui la loro attrazione produce nel moto annuo del nostro pianeta attorno al Sole. L' influenza fisica degli altri pianeti e delle stelle fisse è del tutto impercettibile, eccetto soltanto in questo senso che gli uomini ed alcune specie di animali, cioè gli animali

Digitized by Google

notturni, forse ancora alcune pianticelle criptogame, risentono un benefico effetto dalla fioca ma pure preziosa luce cui ci tramandano di notte le stelle ed i pianeti, togliendo le dense ed assolute tenebre che regnerebbero, senza di essi, quasi sopra una metà della superficie terrestre.

Qui mi viene in acconcio lo spiegare per incidenza l' origine razionale dell' irragionevolissima Astrologia, detta ancora Astrologia giudiziaria. Era cosa di capitale importanza per la vita umana, dipendente sin dalla più remota origine della nostra razza dai frutti spontanei degli alberi, più tardi dalla caccia e dalla pesca, e più tardi ancora dall' Agricoltura, ed in ogni tempo dalla maggiore o minor temperatura dell' aria, il conoscere il ciclo delle stagioni. Questo ciclo è realmente regolato dal Sole, ma il grande astro non presenta ad occhio volgare un'abbastanza sensibile e netta differenza di posizione da un giorno ad un altro, e ben anche da uno ad un altro mese, per poter divenire un indice popolare del ciclo delle stagioni. Si incominciò per tempo a sostituirvi un periodo or di dodici, ora di tredici lunazioni: ma questa inevitabile ineguaglianza nel numero dei mesi lunari in un anno impediva di stabilire delle regole comode per l'Agricoltura. Per esempio oggi si può dire: nell' Italia settentrionale la messe del frumento comincia circa il 24 di Giugno; perchè il 24 di Giugno cade invariabilmente due o tre giorni dopo il solstizio di estate: ma nel calendario lunisolare, comunque si tentasse di regolarlo, un determinato giorno nominale faceva in pochissimi anni un salto di un intero mese di 29 in 30 giorni rispetto alle stagioni: per esempio questo 24 di Giugno qualche volta sarebbe venuto dodici giorni *prima* del solstizio; nell' anno seguente sarebbe venuto ventitrè o ventiquattro giorni prima del solstizio, oppure sei o sette

giorni *dopo* il solstizio: e questi enormi salti erano inevitabili anche col miglior regolamento possibile del calendario luni-solare; con un cattivo regolamento poi gl'inconvenienti erano molto maggiori. Di qui si scorge la grandezza del benefizio cui Giulio Cesare fece all'umanità, introducendo l'anno solare (Lez. XXXV).

Nondimeno, anche molti secoli prima di Giulio Cesare, i popoli più istruiti, e segnatamente i Caldei, gli Egiziani, e dietro di essi i Greci, cercarono e trovarono un qualche ripiego all'imperfezione dell'anno luni-solare, mediante l'osservazione delle costellazioni.

Imperciocchè il moto apparente delle stelle fisse è di una perfettissima regolarità. Il moto apparente del Sole, donde in realtà dipendono le stagioni, paragonato alla posizione delle stelle fisse, percorre in realtà un grande ciclo di quasi ventiseimila anni (Lez. XXXIX); ma nella vita più lunga di un uomo, non presenta alcuna sensibile variazione: laonde se un dato anno si poteva dire con verità: i giorni più caldi han luogo quando la Canicola, o Sirio, precede o segue di una mezz'ora il sorger del sole, la regola rimaneva buona e sensibilmente esatta per dugento o trecento altri anni di seguito.

La durata media della notte in un anno intero, è dappertutto eguale a dodici ore. Sono troppe pel sonno. Nei paesi caldi, ove nacque la razza umana e la civiltà, e che sono i più favorevoli all'Astronomia per la purezza del cielo, conveniva meglio alzarsi avanti al sorgere del sole, nelle fresche ore del mattino. Naturalmente adunque gli uomini primitivi di quei paesi prestarono una speciale attenzione alle stelle e costellazioni il di cui nascere precedeva di poco il nascer del sole; e poterono fare tanto più facilmente queste osservazioni, in quanto che in quelle regioni tropicali il crepuscolo è assai meno sensibile che nelle regioni temperate e polari. Il sorgere delle stelle

poco prima del sole fu chiamato dai Greci *nascita eliaca* delle stelle; così pure fu chiamato *occaso eliaco* il loro tramonto poco dopo quello del Sole.

Ora, siccome queste osservazioni servivano razionalmente a determinare il ciclo delle stagioni, ed a predirle, e quindi ancora a regolare i lavori dell'Agricoltura, e siccome, d'altra parte, il volgo ha una tendenza a confondere l'*indizio* di una cosa colla cagione di essa, accadde poco per volta che gli uomini si avvezzarono ad attribuire alle stelle individuali, ed ai loro più spiccati gruppi, o costellazioni, una causalità, un'influenza decisa sopra i più grandi avvenimenti fisici e sociali. Simile pure a questa è, in parte, l'origine dell'errore che attribuisce alla luna una predonderante influenza sulle variazioni meteorologiche.

I commentatori dei poeti latini soglion commettere tre' madornali spropositi quando pretendono di spiegare i passi relativi alla nascita o tramonto eliaco delle stelle. In primo luogo partecipano l'errore dei poeti antichi nel confondere l'indizio colla causa, e nel credere all'influenza delle stelle. Vi aggiungono poi di loro proprio due altri strafalcioni, confondendo l'orto eliaco di una data stella, che avviene soltanto in certi giorni dell'anno, col di lei sorgere in generale, il quale succede ogni giorno, ed ignorando che per la precessione degli equinozii vi è il divario di un *segno*, o di un mese intero, fra il sorgere eliaco delle stelle ai nostri giorni, e quel, ch'egli era ai tempi di Ipparco, od anche di Arato, dal quale i poeti latini trassero le loro allusioni astrologiche. (*)

(*) I commentatori diranno per esempio: *Hyades sunt septem stellæ in fronte Tauri, quæ quoties oriuntur aut occidunt, pluvias creant.* Se fosse vero questo, pioverebbe tutti i giorni, perchè le Iadi nascono e tramontano ogni giorno.

Digitized by Google

La lettura dei classici Greci e Latini insegna una quantità di buone cose in Istoria, in Morale, in Politica, e più sicuramente ed utilmente ancora nella parte fondamentale del senso comune dell' Umanità, ma sciaguratamente suggerisce ancora una caterva di errori di Fisica e di scienze naturali. Ci vogliono dei nuovi e giudiziosi, benchè brevi, comenti, per aiutare i giovinetti a fare il loro pro del buono e del bello che abbonda nei classici, ma ad evitare in pari tempo lo scoglio di imbeversi dei numerosi errori scientifici degli antichi.

Nessuno sinora, per quanto io mi sappia, aveva avvertito, come io ho fatto testè, l' origine perfettamente razionale di una scienza così irrazionale ed illusoria quale si è l'Astrologia, ossia la pretesa scienza che si lusingava di predire gli avvenimenti sociali mediante l' osservazione degli astri. La parola Astrologia ha però avuto anche un significato nobile ed onorevole, cui ora più non ha, come sinonimo di Astronomia. Per aprirci la strada alla vera Astronomia, imprendiamo omai più direttamente a trattare della Meteorologia, nel solo modo per ora possibile, cioè di spiegare, non già di predire i fenomeni atmosferici. Ma prima bisogna avere un' idea ben chiara dell' Atmosfera stessa.

Quel che è vero si è che due mila o mille e novecento anni fa, il sorgere e tramonto *eliaco* delle ìadi avvenivano al principio di Maggio. A Bologna, forse anche nel resto dell'Italia, il mese della maggior frequenza media della pioggia, è Maggio. Ai nostri giorni però, in grazia della precessione degli equinozii, la congiunzione del Sole col piccolo gruppo delle Iadi, e con Aldebaran, che sembra in qualche guisa il loro duce o capo, ossia l'epoca in cui queste stelle hanno la stessa longitudine del sole, cade alla fine di Maggio, ed al principio di Giugno.

L'Atmosfera non è altro che la grande massa di aria che copre e circonda d'ogni intorno la terra. Le proprietà chimiche dell'aria risultano principalmente dalla mescolanza dei due principali gas di cui è composta, l'ossigene e l'azoto, prossimamente nella proporzione del 21 per cento di ossigene e 79 per cento di azoto in quanto al volume, ovvero del 23 per cento di ossigene, e 77 per cento di azoto, in quanto al peso (Lez. XXVI, pag. 324). Sapete che l'ossigene, benchè poco più di un quarto dell'azoto, in volume od in peso, è la parte più essenziale dell'atmosfera per la nostra vita; onde il gas ossigene fu ancora chiamato aria vitale. Sonovi però nell'atmosfera altri gas in assai minore quantità dei due già nominati, cioè il vapore acqueo, necessario alla vita degli animali e delle piante; l'*ècebo*, o gas acido carbonico, e la *bìdaa*, o gas ammoniaco, necessarii alla vita delle piante. Nè voglio tacere che una parte dell'ossigene atmosferico, sotto l'influenza dell'elettricità, si cambia in *ozono*, che è uno stato *allotropico*, cioè diverso dall'ordinario, del gas ossigene. Negli osservatorii meteorologici si presta ora una speciale attenzione alla maggior o minor quantità di ozono contenuta nell'atmosfera, anche perchè si è notato che nelle epoche delle malattie contagiose l'ozono è più scarso del solito: del qual fatto la più probabile spiegazione è forse questa, che l'ozono è mortifero pei minutissimi esseri organizzati, piante od animali, che producono o favoriscono le malattie epidemiche degli uomini.

Le proprietà fisiche dell'aria le sono comuni con tutti i corpi gazzosi, ossia aeriformi, e consistono principalmente nell'essere ella pesante, elastica e trasparente. Una bolla d'aria che si sviluppi al fondo di una massa d'acqua ascende sollecitamente alla superficie, per quella legge generale di Idrostatica che fa venire a galla i corpi immersi in un fluido specificamente più grave di essi,

come il sughero nell'acqua. Perciò i Peripatetici fantasticarono che l'aria fosse dotata di una quantità assoluta di leggerezza. Galileo Galilei fu il primo a convincerli di errore, e a dimostrare sperimentalmente che l'aria è soggetta alla legge generale della gravità, col pesare in una delicata bilancia una vescica gonfia di aria compressa, la quale si fece conoscere di maggior peso che la vescica stessa piena di aria alla densità ordinaria, o pochissimo compressa. Con altri mezzi di maggior precisione si è trovato che ad egual volume l'acqua pesa 750 volte più dell'aria a pressione e temperatura normale, cioè quando il barometro segna 76 centimetri, o l'ordinaria pressione a livello del mare (Lez. XXI), ed il termometro centigrado od ottantigrado segna lo zero, ossia alla temperatura del gelo che si scioglie (Lez. XXII). A diverse pressioni però, e a diverse temperature, la densità dell'aria è differente: il volume di una data massa di aria è in ragion inversa della pressione, ciò che chiamasi la legge di Mariotte; ed ella si dilata di tre ottavi dalla temperatura della fusione del ghiaccio a quella dell'acqua bollente, o più precisamente di $\frac{1}{376}$ del suo volume a 0° per ogni grado centesimale; ciò che chiamasi la legge di Gay-Lussac.

In virtù della sua elasticità l'aria si restringe tanto di più quanto maggiore è la forza che la comprime, ma essa dilatasi od espandesi di mano in mano che diminuisce la pressione esterna, secondo l'accennata legge di Mariottè. Perciò nelle regioni più basse l'aria ha la sua maggior densità, avendo a sostenere il peso di tutte le colonne aeree poste sovra di essa: ma di mano in mano che ascendiamo una montagna, o ci innalziamo in un globo aereostatico, troviamo un'aria sempre più leggera e rarefatta (Lez. XXI, pag. 266).

Altro effetto del peso e dell' elasticità dell' aria è il premere che ella fa i corpi coi quali trovasi in contatto, a livello del mare o poco più in alto, con una forza equivalente a circa un chilogrammo per ogni centimetro quadro di superficie. Quanto più si ascende, la pressione è sempre minore, di modo che all' altezza di cinque chilometri e mezzo la pressione è ridotta alla metà, ossia ad una mezza atmosfera; perchè infatti la massa d' aria superiore a quell'altezza non è che la metà della massa totale. Pure una tal pressione è ancora enorme. Alla pressione di un' intera atmosfera, o di circa un chilogrammo per centimetro quadrato, valutando un metro quadro e mezzo la superficie del corpo di un uomo adulto, quest' uomo sosterrà dall' aria esterna una pressione di quindici tonnellate, o 15,000 chilogrammi. Una siffatta spinta abbatterebbe infallibilmente il più solido muro se l' aria fosse tutta da una parte: posto il peso del metro cubo di muro 2500 chilogrammi, e 0.5 il coefficiente dell' attrito, il muro, per resistere al ribaltamento o allo strisciamento, avrebbe bisogno di una grossezza quattro volte maggiore dell' altezza. Ciò nondimeno noi non solo non siamo rovesciati nè schiacciati dalla pressione atmosferica, ma neppure ce ne accorgiamo, perchè si equilibrano perfettamentele le pressioni da destra a sinistra con quelle da sinistra a destra; le pressioni dall' avanti all' indietro con quelle dall' indietro all'avanti; e quasi perfettamente pure quelle dall' alto al basso con quelle dal basso all' alto. Queste ultime la vincono sulle loro contrarie solo di tanto quanto sarebbe il peso di un volume d' aria eguale a quello del corpo, cioè, per un uomo adulto, colla piccola prevalenza di circa cento grammi. Si bilanciano pure fra loro quasi perfettamente le pressioni dell' aria esterna colle contro-pressioni dei fluidi interni.

La trasparenza dell' aria è maggiore di quella del-

Digitized by Google

l'acqua o del più puro cristallo: non è però assoluta. Prescindendo ancora dai vapori condensati che la possono ingombrare, e di cui dirò più avanti, l'aria, anche nello stato della sua maggior purezza, rifrange e riflette in tutte le direzioni una parte della luce che la traversa. Gran fortuna è questa per noi, giacchè se l'aria fosse di una trasparenza perfetta, nell'interno delle nostre case, anche di pien meriggio, noi saremmo immersi nelle tenebre, eccettochè là dove i raggi del sole percuotono direttamente. La luce che penetra attraverso alle finestre non esposte al sole, ed in generale la luce che illumina gli spazii posti all'ombra, è lume indiretto cui il sole comunica all'atmosfera, e cui l'atmosfera diffonde in tutte le direzioni.

Quel grazioso colore azzurro cui ci presenta la così detta volta del cielo, non è al certo il colore proprio del vero cielo astronomico, ma quello dell'atmosfera. Il colore del vero cielo, cioè dello spazio ove nuotano gli astri, potrebbe dirsi in certa guisa che è il nero, nero più dell'inchiostro, val dire la mancanza assoluta di ogni colore: infatti alla cima delle altissime montagne il cielo sembra veramente nero. Il colore azzurro che forma il più vago ornamento del cielo meteorologico, è dovuto alla imperfetta trasparenza dell'atmosfera.

La luce bianca del sole e della maggior parte delle stelle, è composta di sette raggi di diversa rifrangibilità e colore, che si osservano più spiccatamente nell'iride o arco baleno, e i di cui nomi ed ordine si possono ricordare facilmente mediante i seguenti due versetti: (Lez. XXIV)

Rosso, arancio, giallo, verde,
Turchino, indaco, violetto.

Ora l'aria lascia a tutti sette questi raggi un pas-

saggio quasi interamente ma non interamente libero; essa ne intercetta, ed assorbe, e riflette una parte di tutti; ma assorbe un po' meno e riflette alquanto più degli altri il turchino: di qui è il color turchino dell' aria. Questa riflessiome prevalente però è così debole che non si rende sensibile se non in uno strato grosso parecchi chilometri; come sciogliendo in una vasca di acqua una piccola quantità di carmino, tutta l' acqua della vasca sembrerebbe leggermente rossa, ma se ne levate un bicchiere, l' acqua in esso contenuta vi sembra perfettamente limpida. Rimane poi a sapersi se l' azzurro dell' atmosfera spetta all' insieme dei due principali gas componenti, ossigene ed azoto, o ad uno solo di essi, ovvero al vapore acqueo vero, cioè aeriforme: imperciocchè il vapore vesicolare dà piuttosto al cielo l' aspetto bianchiccio, o rosso.

Abbiamo spiegato di volo la cagione per cui la volta celeste è o sembra azzurra: rimane a spiegarsi perchè ella presenti appunto l'aspetto di una *volta*, cioè di una mezza sfera; o più esattamente di una mezza sferoide schiacciata. Noi giudichiamo delle distanze degli oggetti in tre modi. In primo luogo misurando materialmente tale distanza collo stendervi la mano, o coi passi; in secondo luogo dalla loro maggiore o minor grandezza apparente, quando ci è nota la loro grandezza reale; perchè gli oggetti ci sembrano tanto più piccoli quanto sono più lontani. Qui, per incidenza, voglio insegnarvi un modo pratico ed approssimativo di giudicare della distanza di un uomo. Stringete fra le dita una riga graduata, in posizione verticale, e lontana dall' occhio di tutta la lunghezza del vostro braccio; supponiamo sessanta centimetri. Voi scorgete che la statura dell' uomo lontano, dalla sommità del capo al piede, coincide, nella visuale, con una data porzione della riga, per esempio un centi-

metro. Voi allora fate questo raziocinio: come la distanza della riga dall' occhio è sessanta volte più lunga del centimetro, così la distanza di quell' uomo dev' essere sessanta volte più lunga della di lui statura. S' egli ha l' altezza media di 1^m 68, egli è dunque distante cento metri incirca. Se la visuale mi facesse coincidere la di lui figura con un mezzo centimetro, egli sarebbe distante dugento metri, ecc.

Ora, un calcolo simile a questo noi lo facciamo tutto giorno, benchè in una maniera più confusa, e quindi più lontana dalla precisione, ma lo facciamo anche molto rapidamente, ciò che è un ricco compenso: imperciocchè, nella vita pratica, mille cose conosciute con una grossolana approssimazione, giovano ordinariamente più che una sola conosciuta con meno di un millionesimo di errore relativo.

Il terzo modo di giudicare della distanza dipende dagli sforzi muscolari, cui facciamo istintivamente, di rendere più o meno convesso il nostro occhio per far cadere nella retina il fuoco coniugato di ciascun punto dell' oggetto mirato, ed ottenerne la visione distinta. Il quarto metodo sta nel rilevare la distanza dalla prospettiva *aerea*, cioè dalla diversa tinta cui assumono gli oggetti secondo la maggiore o minor quantità d' aria interposta, e secondo la più o meno distinta visibilità dei minuti particolari. Per lo più noi facciam concorrere tutti quattro questi metodi al giudizio della distanza.

Ma tutti quattro ci mancano per giudicare ad occhio la distanza dei corpi celesti. Ci manca, troppo evidentemente, il metodo di verificarne la distanza colle mani, o coi passi. Ci manca il metodo di giudicare la distanza dalla grandezza apparente, od angolo ottico, paragonata alla grandezza reale, perchè quest'ultima è, dessa medesima un' incognita. Ci manca il mezzo di giudicarla dagli sforzi muscolari dell' occhio, perchè al di là di una distanza

Digitized by Google

di 40 in 50 metri, i raggi che vengono da un dato punto a due punti diametralmente opposti della pupilla, sono sensibilmente paralelli. Il quarto metodo, cioè quello della prospettiva aerea, non solo non ci vien punto in sussidio, ma in questo caso ci inganna, ed è la fonte principale della nostra illusione ottica. Imperciocchè l'estrema vivacità e nitidezza della luce dei corpi celesti, paragonata a quella degli oggetti terrestri, tende a farci credere quelli più vicini della maggior parte di questi.

Mancandoci così tutti i criterii per giudicare della maggiore o minor distanza dei corpi celesti, ne nasce che essi ci sembrano tutti posti ad eguali o quasi eguali distanze da noi, sebbene in verità le loro distanze sieno enormemente differenti. Ma una superficie di cui tutti i punti fossero realmente ad egual distanza dal nostro occhio sarebbe una superficie sferica: dunque il cielo deve sembrarci una volta quasi emisferica. Ho detto quasi emisferica, perchè in realtà essa ha l'apparenza di una volta semi-ellittica. Le cagioni son due; e prima la maggior rifrazione, che dà agli astri un più fioco chiarore presso all'orizzonte. Di più, noi ci avvezziamo da fanciulli a tirar giù, coll'immaginazione, i corpi celesti più che possiamo; ma, sin da quella tenera ed inesperta età, noi ben comprendiamo che il sole, la luna, le stelle debbono essere più alte degli alberi e delle case, dappoichè passano al di sopra degli alberi e delle case: ma, per egual ragione, ci avvezziamo sin da fanciulli a considerare i corpi celesti vicini all'orizzonte come più lontani di quelli vicini allo zenit, perchè facciam presto a verificare che il sole, la luna, e le stelle vicine all'orizzonte, sono al di là delle case ed altri oggetti, la di cui distanza, a noi nota, è maggiore dell'altezza delle case stesse. Di qui nasce ancora l'illusione che ci fa comparire il sole e la luna presso all'orizzonte, maggiori di

quanto appariscono allorchè eglino sono più alti. Imperciocchè, ad eguale angolo ottico, la grandezza reale del corpo è tanto più grande quanto maggiore è la distanza. (*)

Il fenomeno atmosferico più importante per l'Astronomia è la rifrazione. La luce cammina sempre in linea retta, eccettochè quando essa attraversa obbliquamente un corpo diàfano, come il vetro, l'acqua, l'aria. Perciò un bastone che sia in parte immerso nell'acqua ci sembra scavezzo. La rifrazione o piegamento cui soffrono i raggi luminosi, traversando l'atmosfera, è tanto maggiore quanto più la vera posizione del corpo luminoso si accosta all'orizzonte; ed è necessario che l'astronomia ne tenga conto, riducendo col calcolo la posizione apparente degli astri a quella cui assumerebbero se non esistesse la rifrazione. Allo zenit, ossia al punto culminante del cielo, situato verticalmente sulla nostra testa, la rifrazione è nulla, insomma i raggi non deviano punto dalla linea retta. All'incontro la rifrazione è massima all'orizzonte, cioè a quella linea circolare la quale in una rasa campagna, od in mare, sembra formare il confine fra il cielo e la terra (Lez. XXXVII).

Varia ancora la rifrazione secondo la maggiore o

(*) Chiunque è stato spettatore di fuochi artificiali ha potuto osservare che i razzi e le bombe sembrano descrivere una curva che piega verso il pubblico: ma questa apparenza è un'illusione ottica, dovuta alla stessa causa che dà al cielo l'aspetto di una volta, val dire perchè al di là di un certo limite non possiamo più giudicare ad occhio le differenze delle distanze, e tutti i corpi ci sembrano egualmente distanti dal nostro occhio. Che l'inclinazione dei razzi e delle bombe verso gli spettatori sia un'illusione, si rileva dal fatto che la bacchetta ed altri avanzi del fuoco artificiale vanno a cadere dalla parte più lontana dal pubblico, se i fochisti ne hanno avuto la debita cura.

Digitized by Google

minor densità dell'aria.. Alla temperatura di 10°, e con una pressione barometrica di 76 centimetri, la rifrazione orizzontale è 33 minuti primi e 46 secondi; che è un po' più del diametro apparente del sole e della luna. Ne segue che al nascere del sole o della luna, nel momento che il disco di uno di questi luminari sembra interamente emerso sull'orizzonte, esso è ancora tutto intero al di sotto; e per lo contrario al tramonto, quando il lembo inferiore del sole o della luna sembra toccar l'orizzonte, ed il disco apparisce tutto al di sopra, esso è, di fatto, interamente tramontato. (*)

Il crepuscolo, che anticipa il lume diffuso del sole nel mattino, e lo continua dopo il tramonto nella sera, è un fenomeno proveniente dalla rifrazione della luce. Il crepuscolo comincia o finisce quando il sole è a 18° sotto l'orizzonte. Da questo fatto Laplace ha calcolato che l'altezza dell'atmosfera deve estendersi almeno a 60 chilometri sul livello del mare. Le stelle cadenti indicano un'altezza anche maggiore.

La temperatura dell'aria in un dato luogo dipende in gran parte dalla elevazione sul livello del mare, calando ella incirca di un grado centesimale per ogni 145 metri di altezza; molto ancora ella dipende dalla latitudine, essendo maggiore presso l'equatore, e minore presso i poli; dipende infine dalla stagione, essendo essa maggiore, come ognuno sa, in estate che in inverno; e dalle circostanze eccezionali di luogo e di tempo. L'ora

(*) **La stessa osservazione, altronde notissima, feci nella Lezione XXXVIII, pag. 566, Vol. I: ma alcune di siffatte ripetizioni sono necessarie in un corso di lezioni pronunciate davanti ad un uditorio cangiante, qual era il mio; e non sono punto dannose all'istruzione anche in un corso popolare stampato.**

del maggior calore raggiante dal sole è il mezzogiorno, e la giornata del maggior calore raggiante è quella del solstizio d' estate: ma l' ora del maggior calore dell' aria all' ombra è incirca alle ore tre pomeridiane; e quella del maggior freddo pochi istanti prima del nascer del sole: l' epoca della massima temperatura all' ombra è verso il 20 di Luglio, e quella del maggior freddo verso il 20 di Gennaio: le due epoche di temperatura media cadono verso il 20 di Aprile, ed il 20 di Ottobre. Si sa poi che le variabili circostanze eccezionali fanno ora anticipare, ora posticipare queste epoche di massimo, di minimo, e di media temperatura.

Laplace ha dato una bella e semplice regola empirica per la temperatura media dell'anno nei varii climi, colla formola

$$T = 27° \, Cos.^2 \, L,$$

naturalmente non esatta, ma comoda per chi non avesse altra più sicura guida.

La formola suppone che la temperatura media sotto l' equatore sia di 27 gradi centigradi, e che la temperatura media in tutte le altre latitudini sia eguale a quella dell' equatore moltiplicata pel quadrato del coseno della latitudine, o, ciò che fa lo stesso, pel quadrato del seno della distanza polare. In un triangolo rettangolo isoscele, il quadrato di ciascuno dei cateti è la metà del quadrato dell' ipotenusa: ed in un triangolo rettangolo di cui uno dei due angoli acuti sia di 60 gradi, essendo conseguentemente l' altro eguale a 30°, il cateto più piccolo è esattamente la metà dell' ipotenusa; ond' è che il quadrato di questo cateto sarà un quarto del quadrato dell' ipotenusa; ed il quadrato del cateto maggiore varrà tre quarti del quadrato dell' ipotenusa (Lez. IV). D' altra parte il seno di novanta gradi, ossia il coseno di zero, è sempre l' unità, il cui quadrato è ancora l' u-

nità stessa: ed il coseno di 90°, eguale al seno di zero, è zero egli stesso, ed il suo quadrato è ancora zero. Ne segue che se la formola di Laplace fosse giusta, e supponendo la temperatura media dell'equatore essere 28°, ciò che secondo le osservazioni sinora fatte sembra accostarsi al vero più che 27°, si verificherebbe la seguente tabella.

LATITUDINE	TEMPERATURA MEDIA CENTIGRADA
Equatore, ossia 0° . . , . .	28°
30°	21°
45°	14°
60° . , ...	7°
Polo, ossia 90°	0°

Questa tabella non si scosta molto dal vero per quanto risguarda le temperature medie della zona torrida, e dell'Europa: ma pecca considerabilmente in eccesso rispetto alla temperatura media delle altre parti della superficie terrestre.

Più generalmente il fatto si è che le *linee isoterme*, invece di essere paralelle all'equatore, come suppone la formola di Laplace, se ne allontanano in modo alquanto sensibile. Le linee isoterme sono curve tracciate sulla superficie del globo per tutti i punti che hanno una egual temperatura media annua. Il nome e l'idea ne appartengono ad Alessandro Humboldt, e sono uno dei suoi principali meriti, fra i molti ch'egli ebbe, verso la Fisica del Globo. L'Equatore del calore, o linea della

massima temperatura annua, serpeggia sull'equatore terrestre, ma la maggior parte è al nord. La sua temperatura media è di circa 28° di Celsio, o centesimali (quasi 22 gradi e mezzo Réaumur).

In generale, ad egual latitudine, la temperatura media è più alta nell' emisfero settentrionale che nel meridionale; essa è più alta in Europa che nelle quattro altre parti della terra; ed in Inghilterra più che nel resto dell' Europa stessa fra gli stessi limiti di latitudine. Giova il dar ragione di questi fatti.

Per l' Europa in generale, e per l' Inghilterra in particolare, una ragione della favorevole situazione delle linee isoterme sta nell' influenza della gran corrente del golfo: ma questa è lungi dall' essere la sola ragione. Della differenza di temperatura media dei due emisferi si è creduto di poter trovare la ragione nella circostanza che il sole rimane più di 186 giorni, cioè dall' equinozio di primavera sino a quello di autunno, al di qua della linea equinoziale; e meno di 179 giorni, cioè dall' equinozio di autunno all'equinozio di primavera, al di là della linea equinoziale. Ma Giovanni Herschell ha giustamente osservato che la maggior distanza del sole dalla terra, nelle due stagioni di primavera ed estate, compensa la minor lunghezza della somma di queste due stagioni in paragone delle altre due; di maniera tale che nel corso dell' anno intero i due emisferi ricevono dal sole una quantità esattamente eguale di calore e di luce. (*)

(*) La traccia della dimostrazione di questo teorema cosmologico è come segue. La quantità di calore mandato dal sole alla terra, mentre questa passa da un raggio vettore ad un altro vicinissimo, è uguale alla quantità di calore mandata alla terra mentre questa passa dall' uno all' altro dei due raggi vettori opposti. Imperciocchè tale quantità è

La vera ragione della diversa temperatura media dei due emisferi sta nella circostanza che quasi la metà dell' emisfero settentrionale è occupato dalla terra, mentre la quasi totalità dell' emisfero meridionale è occupata dal mare. Il mare ha un' influenza nota e benefica per mantenere le temperature estreme entro limiti più ristretti che nei continenti: ma, in contraddizione a ciò che altri ha pensato, io affermo che, ad egual latitudine, la temperatura media alla superficie di un gran continente deve esser più elevata che alla superficie dell' oceano.

Per dimostrarlo, io ragiono così. Sieno due zone eguali in lunghezza ed in larghezza, come pure nella loro distanza dall' equatore, ma una sia coperta dalle acque, e l' altra asciutta. In un anno il sole manda la stessa quantità di calore all' una e all' altra. Una parte eguale di questo calore, circa la metà, è assorbita dall' aria che copre tanto l' una che l' altra zona; ma i raggi non immediatamente assorbiti dall' aria, da una parte sono principalmente impiegati ad evaporare l' acqua; dall' altra sono impiegati a riscaldare la superficie del suolo, o sono da questo riverberate in alto: nell' uno e nell' altro di questi due modi il suolo contribuirà a riscaldare l' aria sovrincombente. Ecco una prima ragione per cui l' aria sulla zona terrestre dee possedere una temperatura media annua, alquanto superiore a quella della zona marittima; imperciocchè è ben vero che d' inverno il mare, colla sua temperatura quasi costante, riscalderà l' aria più che non fa la terra, in egual estensione e latitudine; ma la

---

proporzionale al tempo, ed in ragione inversa del quadrato della distanza: ma il tempo è proporzionale all' area, e l' area è proporzionale al quadrato del raggio vettore; dunque ecc.

differenza positiva, in estate, a favore della temperatura della zona terrestre in paragone della marittima, supererà la differenza negativa che si verifica nell' inverno.

Non basta. I vapori sollevati dalla zona marittima, col variare delle stagioni e dei venti, si condenseranno in nubi, poscia in pioggia, ed in questo cambiamento di stato libereranno il calorico latente cui avevano assorbito nell' atto dell' evaporazione. La maggior parte di questo condensamento avverrà sul mare stesso: ma così non si fa che restituire al mare altrettanta porzione del calorico suo proprio, che gli fu sottratto, o del calore solare che avrebbe riscaldato l' acqua e l' aria sovrincombente, se non avesse avuto luogo l' evaporazione. Ma un' altra e non piccola parte dei vapori sollevati dal mare si condensano sopra la terra: tutto il loro calorico latente, in ragione di 550 calorie per ogni chilogrammo di vapore, è guadagnato dalla terra, o dall' aria terrestre, a spese del mare. Vero è che anche l'umida terra somministra del vapore, una parte del quale anderà forse a condensarsi sul mare: ma è ben chiaro che in generale sarà assai maggiore la quantità di vapore marittimo condensato nell' aria sopra terra, di quella del vapore terrestre condensato sul mare. Ecco dunque una seconda e potente cagione di una sensibile prevalenza di temperatura media nei continenti, in paragone dei mari, ad egual latitudine.

Adesso fatevi a considerare con ispecial attenzione la giacitura dei continenti e delle maggiori isole sulla superficie del globo terracqueo, coll' aiuto di un buon globo artificiale. Troverete che egli è possibile il tagliar il globo in due emisferi in modo che le loro rispettive porzioni di mare e terra sieno ancora più disuguali che quelle dei due emisferi tagliati dall' equatore. Prendete un compasso a gambe ricurve all' indentro, e data ad esse un' apertura tale che le due punte possano abbracciare

un arco di 90° sopra uno qualunque dei circoli massimi del globo, fissate una di quelle punte nella Cornovaglia, alla estremità meridionale dell'isola della Gran Brettagna, e più precisamente presso la città e porto di Falmouth; poi volgete l'altra punta del compasso in giro. Essa descriverà necessariamente un circolo massimo; e vi sarà facile lo scorgere che questo circolo massimo rade quasi tangenzialmente la costa meridionale dell'Affrica, la costa meridionale dell'isola di Madagascar, la costa sud-est della China, la costa orientale dell'isola Giaponese di Niphon, e la costa sud-ovest del Perù nell'America meridionale.

Voi vedrete di più, in un'occhiata, che l'emisfero superiore, limitato dal circolo così descritto, comprende tutta l'Europa, tutta l'Affrica, la quasi totalità dell'Asia, tutta quanta l'America settentrionale, e ben anche la maggior parte dell'America meridionale. Nell'emisfero di sotto non c'è che una fetta dell'America meridionale, una porzione dell'India di là dal Gange, l'Australia, e le numerose ma generalmente piccole isole dell'Oceania.

Ora sono questi i due emisferi che abbracciano rispettivamente il massimo e minimo di terra e di mare. Per convincervene, non avete che a fissare in un punto diverso qualunque la punta del compasso. In grazia delle tangenzialità delle quali ho fatto parola, da qualunque parte cerchiate di spostare la circonferenza del circolo massimo descritto, vedrete che l'emisfero superiore perde immediatamente una lunga striscia di terra da una parte, senza guadagnar cosa alcuna dall'altra parte, perchè la nuova linea, da quell'altra parte, invade soltanto una superficie acquea.

Ora, se vi è una ragione generale per cui la temperatura media dei continenti, ad egual latitudine, sia superiore a quella del mare, come ho mostrato che deve

Digitized by Google

essere, il punto medio o polo dell' emisfero di massima aridezza non solo deve possedere una temperatura media considerevolmente superiore alla temperatura media del suo paralello di egual latitudine nell' altro emisfero, ma è naturale attendersi benanco che le curve isoterme abbiano un *punto singolare* geometrico non lungi da quel centro o polo dell' emisfero di massima aridezza. E tale è bene il fatto. Le linee isoterme che traversano l' Inghilterra rivolgono il loro punto culminante di convessità verso il polo settentrionale, entro l' area stessa dell' Inghilterra; e più particolarmente la linea isoterma di Falmouth presenta una delle più pronunciate inflessioni, il cui punto culminante verso il polo trovasi in vicinanza della stessa città.

La linea isoterma dei 20° rade le coste settentrionali dell' Affrica. Quella dei 15° passa per la parte meridionale della Francia, per esempio per Marsiglia, e per la parte settentrionale dell' Italia, un poco al sud di Bologna. La linea isoterma dei 10° passa vicino a Nuova York in America, pel mezzo dell' Inghilterra, e fra Dresda e Vienna in Germania. Si rileva anche da ciò che le linee isoterme, in Europa, volgono la loro convessità al polo, cioè che ad egual latitudine fa più caldo in Europa che nei mari adiacenti e nelle altre parti del mondo; differenza fortunata per noi Europei, e dovuta in parte all' influenza dei venti, e della grande corrente che proviene dal Golfo del Messico, detta dagl' Inglesi Gulph-stream, ma in parte ancora alla circostanza che l' Europa è la più prossima di tutte le cinque parti del mondo al polo dell' emisfero di massima aridezza, secondo la dottrina poc' anzi spiegata.

La linea isoterma di zero rade il nord del Canadà, dell' Islanda e della Lapponia. La linea *isotere* (cioè di egual temperatura estiva) dei 25° passa per Nuova York,

Digitized by Google

per la Sardegna e per la Sicilia. La linea *isochìmene* (di egual temperatura invernale) dei 10°, passa per Madrid in Ispagna, per Cagliari in Sardegna, per Castrovillari in Calabria, ed attraverso alla Mesopotamia in Asia. Come meglio vedremo nel progresso delle nostre lezioni, la circostanza da me dianzi notata è un argomento contro all' esattezza della tradizione che la razza umana abbia avuto la sua origine fra l' Eufrate ed il Tigri. L' uomo è originario della zona torrida. Imperciocchè il primo paio umano per necessità andò ignudo, almeno nell' infanzia: ora gli uomini non possono vivere allo stato di nudità per un intero inverno, nè in Ispagna, nè in Sardegna, nè in Calabria, nè in Grecia, nè nella Mesopotamia Asiatica.

LEZIONE XXXXI

Le correnti atmosferiche

Bologna.

Il più comune dei fenomeni atmosferici, ed insieme il più facile a spiegarsi, non nelle sue speciali modalità, ma nella sua natura in generale, è il vento. Il vento altro non è che aria in moto. Ognuno può convincersene movendo rapidamente la mano, agitando un ventaglio, soffiando in un mantice, o ricevendo la libera impressione dell' aria in una vettura tirata da cavalli, o dal vapore. I venti sono uno dei più elementari, ma in-

Digitized by Google

sieme uno dei più efficaci istrumenti di ciò che il capitano Maury chiama la gran macchina terrestre. Infatti le correnti atmosferiche sono il gigantesco organo di cui si serve la Natura onde rendere meno disuguale la distribuzione del calorico e del vapore. Senza il vento le terre sarebbero sterili in tutti i climi per eccesso di aridità, perchè i vapori sollevati dal mare condenserèbbonsi sul mare medesimo, e sopra esso solo ricadrebbero. La maggior parte dei paesi ora abitati diventerebbero inabitabili anche per eccesso di caldo o di freddo. Fortunatamente la mescolanza delle colonne aeree provenienti dalle regioni polari colle colonne che provengono dalle regioni equatoriali, tende a rendere meno estrema la temperatura delle une e delle altre. Inoltre, e principalmente, l'evaporazione che avviene delle acque del mare e della umidità delle piante nella zona torrida, rende latente un' enorme quantità di calorico, e così toglie l'eccesso di temperatura che si genererebbe dalla sferza diretta del sole: quell'invisibile vapore poi, portato dai venti alle regioni più vicine ai poli, vi si condensa in nuvole od in pioggia, ed in così fare egli sprigiona quella enorme quantità di calorico cui aveva assorbita e resa latente nei climi più caldi, per farne un prezioso dono ai climi più freddi.

Imperciocchè è a sapersi che ogni chilogrammo di acqua nello evaporarsi assorbe o rende latente 550 *calorìe*, ossia *unità* di calorico, cioè a dire tanto calore quanto basterebbe ad innalzare di un grado centesimale la temperatura di 550 chilogrammi di acqua. Ora il vapore nel ritornare allo stato liquido restituisce tutto il calorico cui egli assorbì nel passaggio dallo stato liquido all'aeriforme. D'altra parte giova il sapere ancora, che il *calorico specifico* dell'aria è quattro volte più piccolo che il calorico specifico dell'acqua; val a dire che, per

innalzare di un grado la temperatura di un dato peso di aria, basta la quarta parte del calore che ci vorrebbe per innalzare di un grado la temperatura di una egual quantità di acqua. Più esattamente, il calore specifico dell' aria è espresso dalla frazione decimale 0, 24, ove si prenda per unità il calorico specifico dell' acqua distillata. Il peso di un metro cubo di aria, a temperatura e pressione ordinaria, è incirca 1.k 20 (un chilogrammo e 200 grammi). Ne segue che un chilogrammo di vapore, proveniente da un litro di acqua, nel ritornare allo stato di acqua è capace di innalzare di un grado la quantità di circa 1900 metri cubici di aria, cioè un volume d' aria quasi due milioni di volte più grande che il volume dell' acqua dalla quale quel vapore provenne.

L' acqua stessa mette in libertà un' altra notabile quantità di calorico latente passando dallo stato liquido allo stato solido, o di gelo. imperciocchè il calore di fusione del gelo, eguale al calorico latente assorbito dall' acqua nel congelarsi, non è minore di 75 calorie per chilogrammo. Ond' è che un litro di acqua evaporata, nel convertirsi in grandine od in neve, libererà 550 più 75, ossia 625 calorie, e sarà valevole ad innalzare di un grado la temperatura di 2170 metri-cubici di aria, della densità media cui essa aver suole alla superficie della terra.

Quando l' aria si muove con una velocità da mezzo metro ad un metro per minuto secondo, essa è un venticello appena sensibile: con una velocità da uno a due metri essa forma una leggera e piacevole brezza: dai due ai quattro metri è vento moderato; dai sei ad otto o dieci è vento forte; da dieci o venti metri è un vento impetuoso; da venti a trenta è una bufera, una burrasca, una tempesta; con quaranta o cinquanta metri di velocità è un terribile uragàno, che schianta alberi e case.

La cagione generale del vento è la rottura dell'equilibrio dell'atmosfera, e questa rottura dipende direttamente dalla pressione barometrica, indirettamente dal calorico. La variazione barometrica che è cagione immediata del vento può provenire da un aumento locale della massa atmosferica in seguito all'evaporazione dell'acqua, o per lo contrario da una diminuzione locale della stessa massa atmosferica in seguito al riconvertirsi del vapore in acqua; più di frequente dipende da una variazione nella densità dell'aria; variazione di densità la quale è poi figlia di una variazione di temperatura, come dai varii effetti del calorico derivano pure il sollevarsi o il condensarsi del vapore.

Basta una diversità quanto si voglia piccola di pressione e contropressione fra due contigue colonne aeree per rompere il loro equilibrio; conciossiachè quella che esercita la più forte pressione vince la colonna di più debole pressione, scacciandola per andarne a prendere il posto, ovvero mescolandosi a lei. Farà meraviglia non solamente agl' indòtti, ma ancora a quelli fra i dotti che mai non hanno eseguito il relativo calcolo, il sapere quanto piccola differenza di pressione basti per produrre un vento sensibile, od anche un vento fortissimo.

Il teorema di Torricelli, confermato dall' esperienza, porta che la velocità dell' efflusso di un liquido, è proporzionale alla radice quadrata del carico, ed eguale a quella cui acquisterebbe un grave cadendo liberamente dall' altezza della superficie superiore del liquido sino alla profondità del centro dell' orifizio (Lez. XVII). Questo teorema è applicabile anche ad un gas, prendendo per altezza di caduta l' altezza cui aver dovrebbe una colonna di gas della stessa densità per produrre una egual pressione, in virtù del solo suo peso, contro alla sezione dell' orifizio all' interno, meno l' altezza cui do-

vrebbe avere una colonna dello stesso gas onde produrre col suo peso una contropressione eguale a quella sostenuta dalla sezione stessa dalla parte esterna. Ciò posto, si trova facilmente che l'aria con una densità 800 volte più piccola di quella dell'acqua, e con una pressione, all'interno, di un'atmosfera, od eguale incirca a quella di una colonna d'acqua alta dieci metri, sboccherebbe nel vuoto con una velocità eguale a quella di un corpo precipitato da un'altezza di 8000 metri; cioè la velocità dell'efflusso sarebbe incirca di 400 metri, o alquanto maggiore della ordinaria velocità delle palle da cannone, al momento di erompere dalla bocca da fuoco.

Imaginiamo ora due grandi colonne d'aria contigue l'una all'altra, ma tali che la pressione barometrica nello strato inferiore dell'una sia di 76 centimetri di mercurio, mentre la pressione nello strato inferiore dell'altra colonna sia di soli 75 centimetri. La differenza fra le due pressioni è la settantesima sesta parte di un'atmosfera. Ora la radice quadrata di uno, è l'unità stessa, mentre la radice quadra di 76 è 8.72: conseguentemente la velocità colla quale lo strato inferiore della colonna più forte si precipiterà contro allo strato inferiore della colonna più debole, sarà 400 diviso per 8.72, che fa più di 45. È quanto dire che si produrrà un vento della tremenda velocità di quarantacinque metri al minuto secondo, un uragàno! Col medesimo processo di calcolo si ritrova che per produrre un venticello di un metro al secondo basta una differenza di pressione rappresentata dalla tenuissima quantità di un dugentesimo di millimetro nella colonna barometrica!

Per poter mantenere in equilibrio od immobile l'aria, rispetto alla superficie terrestre, farebbe d'uopo che ad eguale altezza sul livello del mare vi fosse dappertutto egual pressione, e quindi ancora egual densità del-

Digitized by Google

l' aria. Ora questo è ciò che non accade, e non può accadere giammai; perchè l' aria acquista diversa densità al cangiare di temperatura, e la temperatura dell'aria è mutabile da luogo a luogo, e da un momento all'altro, a cagione della diversa efficacia esercitata dal calore solare, secondo le diverse latitudini, le diverse circostanze topografiche, le diverse stagioni, e ben anche le diverse ore del giorno. Ne deriva la fortunata conseguenza che l' atmosfera non può mai stagnare in una calma che sarebbe per noi mortale; anzi essa è per necessità e dappertutto in uno stato di continuo e salubre rimescolamento.

In mezzo alla inenarrabile varietà di direzione e di forza, cui hanno i venti parziali prodotti dalla generale causa testè spiegata, si distingue la gran corrente equatoriale, tanto per la sua enorme estensione che abbraccia la metà della superficie terrestre, quanto per la costanza comparativa della sua direzione e della sua velocità. Questa immensa corrente atmosferica è conosciuta più comunemente sotto il nome di *venti alisèi*. I venti alisèi spirano, con costante prevalenza di direzione, da levante a ponente, ossia nel senso del moto apparente del sole, e quindi contrario al moto reale della terra; e ciò fanno non solo nella zona torrida, ma ancora nelle latitudini sub-tropicali, sino al trentesimo paralello di qua e di là dell' equatore: i quali due paralelli abbracciano una zona esattamente eguale alla metà della superficie del globo. Negli altri due quarti della superficie del globo spirano dei venti di variabilissima forza, e di una direzione non solo incostante ancor essa, ma per lo più contraria alla direzione dei venti alisei.

La teoria che si suol insegnare in tutti i trattati di geografia fisica, per ispiegare le diverse direzioni prevalenti dei venti alisei e dei venti variabili, teoria fondata

sopra gli effetti del calore solare nell' atmosfera terrestre, e sopra gli effetti del moto rotatorio della terra, è giusta e vera nella sua parte più esenziale, ma per altra parte è insufficiente ed inesatta. Noi ne cercheremo un' altra più pienamente conforme ai fatti, ed alle dottrine della Meccanica razionale.

Il fatto principale che si tratta di spiegare è questo: che, decomposta la velocità attuale del vento in un punto qualunque fra i due paralelli di trenta gradi, in due velocità (Lez. XVI), una paralella e l' altra perpendicolare all' equatore, la componente paralella è costantemente rivolta verso l' ovest, e la componente perpendicolare è quasi sempre rivolta verso l'equatore; di maniera che si va poco lungi dal vero affermando che nel nostro emisfero i venti alisei spirano principalmente dal nord-est, mentre nell' emisfero meridionale essi spirano principalmente dal sud-est.

Naturalmente vi sono molte eccezioni a questa regola, dovute alle circostanze locali, ed al variare delle stagioni: delle quali eccezioni la più celebre ed importante è quella dei venti monsoni, i quali dominano nell' Oceano Indiano, e soffiano dal nord-est nei sei mesi in cui il sole dardeggia direttamente i suoi raggi sull'emisfero Australe, soffiando invece dal sud-est nei sei mesi in cui i raggi solari percuotono più direttamente il nostro emisfero. La più facile è più probabile interpretazione di questo fatto si è, che la parte meridionale dell'Asia, ed il vastissimo deserto di Kobi, riscaldandosi in quei mesi sotto la sferza più diretta del sole, anche più potentemente che non si riscaldano i mari più prossimi all' Equatore, esercitano periodicamente, ed in via eccezionale, un' influenza analoga a quella cui esercitano più generalmente le contrade ed i mari equatoriali.

Rispetto ai venti variabili che regnano nell' altra

metà della superficie terrestre, voglio dire in ambedue i quarti di superficie compresi fra i due paralelli di 30° ed il rispettivo polo, si verificano altre circostanze pur degnissime di essere considerate. Più di un milione e dugentomila osservazioni, fatte per un periodo di nove anni da marinai che percorsero tutti i mari accessibili, raccolte e coordinate dal celebre capitano Americano Maury, danno per risultato quanto in compendio or dirò. Fra il trentesimo quinto paralello, di qua e di là dalla linea equinoziale, i venti, assai più variabili che nella zona torrida, ed anche interrotti da apparenti calme, ossia da venti insensibili, sembrano avere tuttavolta un po' più spesso la direzione dall' est all' ovest; come i venti alisei, di quello che dall' ovest all' est; fra il trentesimo quinto ed il quarantesimo paralello, la direzione prevalente è ancora poco decisa, ma sembra piuttosto inclinare ad essere un vento di ovest, mentre dal quarantesimo paralello al polo la direzione è bensì varia ed incostante, ma la componente paralella all' equatore è il più delle volte, e molto manifestamente, rivolta dall' ovest verso l' est, cioè contraria a quella dei venti alisei. Così pure la componente perpendicolare all' equatore, dei venti variabili, al di fuori del 35° paralello, è il più delle volte diretta verso il polo, cioè, anche sotto questo rispetto, in senso opposto a quello dei venti alisei.

La teoria generalmente ammessa nei libri di Meteorologia e di Fisica del Globo, o Geografia fisica, per ispiegare i venti alisei è questa: che essendo riscaldata dal sole l' atmosfera fra i tropici, l' aria della zona torrida e dei vicini paralelli, nel rarefarsi si alza, e corrono a prendere il di lei posto le colonne atmosferiche che stavano più vicine ai poli: ma queste colonne provenienti dalle fredde regioni, nell'accostarsi che elle fanno all' equatore, portan seco la piccola velocità di rotazione da

ovest ad est, da cui erano animate nelle alte latitudini; ed incontrando le terre meridionali, dotate di una maggiore velocità, queste colonne aeree rimangono alquanto indietro; e la differenza delle due velocità, ossia la velocità relativa dell'aria e della terra, dee produrre lo stesso effetto come se la terra fosse immobile, e l'aria avesse una velocità assoluta contraria al moto reale della terra, e perciò conforme al moto apparente del sole.

Questa teoria, come già prima accennai, è giusta ed incontrastabile nella sua parte fondamentale; tuttavolta essa non basta a render ragione dell'altro gran fatto, che sopra tre settimi, o quasi la metà della superficie del globo, dominano dei venti di direzione diametralmente opposta a quella che si dedurrebbe da questa teoria; e molto meno poi basta essa per ispiegare come il paralello dove cessa da una parte di prevalere la provenienza orientale del vento, ed incomincia dall'altra parte a prevalere la provenienza occidentale, debba essere il trentesimo quinto paralello di qua e di là dall'equatore, piuttosto che un altro paralello qualunque.

Io sono stato curioso di investigare, se mediante la teoria meccanica delle forze vive (Lez. XVI), e col sussidio del calcolo integrale (Lez. III), si potesse render ragione di ambedue i fatti testè accennati.

Noi possiamo considerare ogni molecola d'aria per rispetto alla direzione cui ella deve prendere, come soggetta a due diverse influenze, che sono la resistenza della terra al movimento delle colonne aeree, e la mescolanza di queste medesime colonne, prodotta dagli effetti diretti ed indiretti del calorico: dico tanto del calorico raggiante dal sole verso la terra, quanto dal calorico che irraggia dalla terra verso gli spazii celesti. La prima di queste due cause, cioè la resistenza delle scabrosità della terra al moto dell'aria, se fosse sola, finirebbe presto col dare

a ciascuna armilla atmosferica la velocità precisa della sottoposta zona della superficie terrestre, e quindi cesserebbe dal verificarsi alcun vento sensibile. Ma la seconda influenza, cioè quella della mescolanza, fa sì che le particelle più veloci spingono le più pigre, e queste viceversa ritardano quelle; onde il miscuglio tende dappertutto ad accostare la velocità attuale di ogni armilla aerea alla velocità uniforme ed eguale cui prenderebbe l'intera massa atmosferica, se venisse a cessare la resistenza o attrito della superficie terrestre.

Quale sarebbe questa velocità uniforme, cui acquisterebbe infine tutta la massa atmosferica, se, date le attuali velocità diverse nelle diverse latitudini, e data la continua mescolanza prodotta dal calorico, la terra divenisse perfettamente liscia, e cessasse dall'opporre qualsivoglia resistenza allo scorrimento dell'aria sopra la superficie della terra stessa? La velocità uniforme a cui si arriverebbe è quella che conserverebbe la stessa somma di forze vive ora esistenti nell'aria, in virtù della propria velocità. Imperciocchè, essendo l'aria un corpo perfettamente elastico, la mescolanza o l'urto reciproco delle varie parti non deve produrre alcuna perdita di forza viva.

Siccome si tratta di un calcolo di semplice e larga approssimazione, notiamo dapprima che, sebbene la velocità relativa del vento sia sensibile, pure in media essa è assai piccola in paragone della velocità assoluta del rispettivo paralello. A cagion d'esempio la velocità media dei venti alisei è di circa tre miglia l'ora, o poco più di un metro e mezzo al secondo, mentre la velocità di rotazione dell'equatore è di novecento miglia all'ora, o 463 metri al secondo: ond'è che noi possiamo risguardare la velocità assoluta dell'aria come dappertutto prossimamente eguale a quella del sottoposto paralello terrestre.

Digitized by Google

La velocità di rotazione diurna di ogni punto della superficie del globo è proporzionale alla perpendicolare calata da quel punto sull' asse terrestre, ossia proporzionale al coseno della latitudine. Laonde, se chiamiamo r il raggio della terra considerata come sferica, u la *velocità angolare* (cioè la velocità di ogni punto la cui distanza dal centro eguaglia uno) del moto diurno, x la latitudine, noi avremo per espressione della velocità della rotazione in ogni punto della superficie, $ur\ Cos.\ x$. La massa di un' armilla atmosferica, di larghezza infinitesimale dx, di altezza e densità eguale ad uno, del pari che il di lei volume, sarà espressa da

$$\pi\, r\ Cos.\ x\, dx.$$

La forza viva di quest'armilla elementare, dipendente dalla di lei velocità di rotazione, sarà ciò che in Meccanica razionale si chiama il suo *momento d'inerzia* moltiplicato pel quadrato della velocità angolare, ossia la sua massa moltiplicata pel quadrato della velocità assoluta, cioè

$$2\, \pi\, r^3\, u^2\ Cos.^3\ x\, dx.$$

Il calcolo Integrale ci dà per somma di tutte le minime quantità, espresse dalla precedente funzione differenziale,

$$2\, \pi\, r^3\, u^2 \int Cos.^3\ x\, dx$$
$$= 2\, \pi\, r^3\, u^2 \left(\frac{1}{12} Sen.\ 3\, x + \frac{3}{4}\, Sen.\ x + Costante\right).$$

Ma estendendo l' integrale da $x = 0$, sino ad $x = 90°$, ossia dall' equatore al polo, o per tutto un emisfero, la quantità sotto parentesi nella precedente formola acquista

Digitized by Google

una grandissima semplificazione: imperciocchè il seno di zero è sempre zero, onde si annulla la costante; il seno del quadrante è il raggio positivo, ed il seno di tre quadranti è il raggio negativo (*); laonde quella espressione sotto parentesi diviene

$$-\frac{1}{12}r+\frac{3}{4}r=\frac{2}{3}r.$$

Ne segue che la forza viva che attualmente compete a tutta l'atmosfera terrestre da un polo all'altro, in virtù del suo moto rotatorio, per un'altezza eguale ad un metro, presa per unità di densità la densità di questo strato alto un metro, sarà

$$\frac{8}{3}\pi u^2 r^4.$$

Tale sarebbe ancora la forza viva cui possederebbe tutto uno strato atmosferico di altezza e densità eguale ad uno, che involga tutto il globo, e di cui perciò tanto il volume che la massa saranno espressi da

$$4\pi r^2,$$

se tutte le molecole di questo strato atmosferico fossero dotate della velocità

$$r u \sqrt{\frac{2}{3}};$$

imperciocchè il quadrato di questa velocità, moltiplicato per la massa, dà appunto il prodotto

$$\frac{8}{3}\pi u^2 r^4.$$

La stessa conchiusione vale per tutti gli altri strati atmosferici di altezza e densità eguale all'unità, prendendo successivamente per unità di densità, onde agevolare il calcolo, la densità media propria di ciascuno di quegli strati. Donde si fa chiaro, che la forza viva che spetta a tutta l'atmosfera terrestre, in virtù delle sue varie velocità di rotazione, è assai prossimamente eguale a due terzi di quella che si avrebbe se tutta la massa fosse animata dalla velocità dell'equatore terrestre, ossia è eguale a quella che si avrebbe se tutta intera la massa fosse animata dalla velocità dell'equatore moltiplicata per la radice di due terzi.

Ora questa è la velocità del paralello il cui coseno eguaglia la radice di due terzi, ossia:

0. 816496.

Consultando le tavole dei seni e coseni, noi troviamo che questo coseno appartiene all'arco di

35° 15′ 52″.

La differenza è ben piccola da 35 gradi: più piccola invero di quella che potevasi attendere in siffatto genere di ricerche. I due paralelli di 35°, di qua e di là dall'equatore, sono, se vi rammentate, quelli dove incirca si verifica il cambiamento della principale direzione dei venti alisei, dall'ovest all'est. Insomma l'osservazione ci mostra che un tale cambiamento di direzioni si verifica prossimamente per quei due paralelli che secondo la teoria hanno la velocità corrispondente alla forza viva totale dell'atmosfera terrestre.

E così doveva ben essere di fatto: imperciocchè, date le diverse velocità attuali delle colonne atmosferi-

che, se venisse soppressa la resistenza cui esse trovano nelle scabrosità della terra e nei flutti del mare, ma continuasse ad aver luogo il rimescolamento generale delle colonne calde e fredde, dall' alto al basso, da oriente ad occidente, dall' equatore ai poli, dai poli all' equatore, e da un emisfero all' altro, a poco per volta tutta la massa atmosferica si ridurrebbe ad avere una sola velocità; ma siccome l' aria è un corpo di perfetta elasticità, e non vi potrebbe essere perdita di forza viva, bisogna ritenere che la velocità a cui si giugnerebbe, sarebbe quella che desse una forza viva totale eguale alla presente, cioè la velocità del paralello neutro, che è una velocità di 735 miglia all' ora.

Adesso restituiremo mentalmente le montagne e le altre scabrosità alla terra, le onde al mare. Che cosa avverrà? La resistenza prodotta da tutte le prominenze

---

(*) Naturalmente non diedi queste minute spiegazioni alla dotta Accademia alla quale lessi, in forma di memoria, una parte di questa lezione; le do qui, all' intento che quelli fra i miei buoni lettori che avranno studiato con attenzione le otto lezioni popolari di Matematica nella mia Introduzione, possano per incidenza acquistare qualche altra elementare ma bella ed interessante cognizione. Per mia sventura, mentre una parte di questa lezione, e, più generalmente di tutta la mia opera, sembrerà troppo elementare pei dotti di professione, le formole e le cifre, le quali son costretto ad inserirvi non di rado, sembreranno invece troppo scientifiche alla maggior parte degli altri lettori. Pure, se essi volessero applicarvi una forte e paziente attenzione, coll' aiuto delle mie lezioni introduttive, riescirebbero forse ad intendere anche le poche formole contenute nella presente ed in altre lezioni. Ove questo sia un aspettare o pre-

Digitized by Google

terrestri, e dalle onde create dal vento stesso a spese di una parte della sua velocità, tende dappertutto a ridurre le colonne locali dell'aria alla velocità del rispettivo paralello; e vi riuscirebbe, se non vi si opponesse la mescolanza, la quale invece tende dappertutto a ricondurle alla velocità del paralello di 35°. Ora la velocità di rotazione cresce andando verso l'equatore, e diminuisce andando verso i poli; dunque l'effetto della mescolanza non accelera nè ritarda l'aria che riposa sul trentesimo quinto paralello, cui chiameremo perciò il paralello neutro; ma invece l'influenza del rimescolamento ritarderà le colonne più vicine all'equatore, ed affretterà quelle più vicine ai poli. Insomma fra l'equatore ed i paralelli neutri il vento avrà una velocità relativa contraria al moto reale della terra; fra i paralelli neutri ed i poli il vento spirerà nella direzione stessa del moto della terra.

---

tender troppo da essi, saltino pure le pagine alquanto irte di cifre o di formole, ma non trascurino almeno le altre; ed oso dire che ritrarranno sufficiente compenso di apprendimento anche da una lettura incompleta; benchè l'avrebbero evidentemente maggiore da una lettura completa.

Li prego poi di nuovo a considerare quanto dissi od accennai su questo proposito nel proemio dell'opera: essermi io prefisso due intenti, de'quali uno è il rendere accessibili le più belle e più fondamentali nozioni di tutte le scienze a coloro fra i miei connazionali che sortirono dalla benigna nostra madre Natura una sufficiente altezza d'animo per sentire la brama di comprendere una parte delle di lei maraviglie, e dall'educazione un corredo almeno modico della più elementare istruzione: l'altro mio scopo è di sottoporre al giudizio di quelli fra i dotti di professione ai quali competesi di diritto il titolo assai più raro e desiderabile di SAPIENTI, il frutto delle mie proprie investigazioni personali.

Digitized by Google

La nuova teoria adunque della prevalente direzione dei venti alisei, e della prevalente direzione contraria dei venti variabili, si riduce a questo: la tendenza delle colonne aeree a fuggire dall'oriente verso l'occidente, fra i limiti dei due paralelli di 35 gradi, e la tendenza opposta dei venti al di fuori di quei due paralelli, sono le necessarie conseguenze, fisiche e matematiche, della combinazione del moto diurno della terra, col rimescolamento delle colonne aeree prodotto dal calore solare; ed il confine comune delle due contrarie direzioni è il trentesimo quinto paralello, perchè esso ha quella velocità che corrisponde alla forza viva media di tutta l'atmosfera; donde nasce che la mescolanza ritarda le colonne aeree della zona abbracciata da quei due paralelli, e le accelera fra le altre e quei due paralelli ed i poli.

Ma insieme colla causa che produce il movimento dell'aria dall'est all'ovest fra i due paralelli neutri, e dall'ovest all'est al di fuori di essi, esistono altre cause, le quali tendono ad accostare l'aria all'equatore fra i due paralelli neutri, ed a scostarnela, al di là di quei due limiti. La principale, od almeno la più evidente di queste due cause che tirano l'aria da una parte verso l'equatore, dall'altra verso i poli, è la minor pressione ba-

---

A questi ultimi certamente non mi fa mestieri il raccomandare di rigettar lungi da sè la superbia, abituale nei semplici scienziati, di avere od ostentare un irragionevole disprezzo per le cognizioni accessibili al popolo. Ad un tempo prego dotti ed indotti a tenermi conto della estrema difficoltà del mio cómpito: difficoltà così chiaramente espressa dal grande Poeta, il quale a modo suo trattò lo stesso immenso soggetto:

« *Che non è impresa da pigliare a gabbo*
Descriver fondo all' UNIVERSO *intero.* »

rometrica che regna nelle regioni equatoriali, e nelle zone gelate, in paragone delle pressioni medie che si osservano nelle regioni intermedie. Quindi l'aria è generalmente sollecitata da due serie di forze, inclinate fra loro ad angolo retto; ed essa perciò deve percorrere la diagonale di tali due serie di forze (Lez. XVI, pag. 190). In altri termini, i venti prevalenti fra l'equatore ed il paralello neutro settentrionale saranno venti di nord-est; e fra quel paralello ed il polo artico i venti prevalenti saranno diametralmente opposti ai primi, val a dire che saranno generalmente venti di sud-ovest; mentre nell'altro emisfero prevarranno i venti di sud-est fra l'equatore ed il paralello neutro meridionale; ma prevarranno i venti di nord-ovest fra quel paralello ed il polo antartico.

Tale è in realtà il fatto: ed è come tanti altri un fatto naturale ben fortunato per la moltitudine di animali e di piante che popolano la terra ed il mare, perchè era necessario a togliere o moderare gli eccessi dei climi, mescolando e correggendo vicendevolmente le loro opposte influenze.

Difficile non è il trovar una buona ragione anche della principale eccezione cui soffre la regola dianzi esposta, per le contrarie direzioni dei venti dentro e fuori dei paralelli neutri. La principale eccezione consiste nella irregolarità e variabilità delle correnti nella metà della superficie terrestre, cioè al di fuori dei due paralelli di 30°. Ora, se avvi una forza che trae le colonne basse dell'aria dai paralelli medii all'equatore, vi dee per necessità essere un'altra forza la quale riconduca le colonne più alte dall'equatore verso i poli, altrimenti l'aria finirebbe coll'accumularsi tutta all'equatore. Ma le colonne di ritorno dall'equatore ai poli trovano un campo sempre più ristretto: è dunque impossibile che tutte le colonne che rifluiscono dall'equatore verso i poli arrivino

direttamente al polo, od anche soltanto al circolo polare; ed è inevitabile che tutte queste colonne si rivolgano di nuovo verso l'equatore a distanze diverse, ed in diversi modi. Il loro inevitabile cozzarsi e mutuo impedimento darà necessariamente origine a dei moti irregolari assai più moltiplicati nelle zone temperate di quello che nelle più vaste e meno confluenti regioni intertropicali.

Per quanto grandi però e moltiplicate sieno le irregolarità delle correnti atmosferiche, certa cosa è che esse devono dappertutto avere una specie di circolazione, la quale tolga lo accumularsi indefinito dell'aria in un medesimo luogo. La circolazione delle colonne aeree nel senso paralello all'equatore, ossia da est ad ovest dentro ai due paralelli neutri, e da ovest ad est fuori di essi, può compiersi senza alcuna retrocessione, seguendo virtualmente i circoli paralelli all'equatore: ma la circolazione fra i poli e l'equatore non può effettuarsi senza una qualche specie di retrocessione. Questa circolazione ha luogo a un di presso in forma di una lemniscata, o figura di 8, coricata sopra ogni quadrante interposto fra l'equatore ed i poli, col nodo sul paralello neutro. Lo strato più denso e di maggior massa va dal paralello neutro all'equatore, radendo lentamente la terra: all'equatore, quest'aria si solleva, e diventa strato superiore, e meno denso, e torna, come *controcorrente,* di una grande velocità, al paralello neutro: qui esso ridiviene corrente inferiore e più densa, radendo con piccola celerità la terra, dal paralello neutro sin presso i poli, ma procedendo con assai maggiore irregolarità e mescolanza che nella zona tropicale. Presso i poli quella stessa aria si alza di nuovo, e ridiventa controcorrente, o strato superiore, torna al paralello neutro, con grande velocità; atta a supplire la minor densità, per mantenere pressima-

mente l' eguaglianza di massa e pressione atmosferica in tutte le latitudini, e compire la circolazione nel senso perpendicolare all'equatore. È a credersi ben ancora, che una parte dell' aria la quale arriva all' equatore passi di là, e sia surrogata da altrettanta aria nella direzione opposta, compiendosi così una specie di utile scambio e circolazione anche fra i due emisferi.

LEZIONE XXXXII

Correnti maritime.

Bologna.

L' azione del calor solare, combinato col moto diurno della terra, produce pure nel mare, delle correnti analoghe alle correnti aeree od ai venti, e press' a poco nelle medesime direzioni; ma il modo con cui il calore solare opera sulle correnti marine è notabilmente diverso dal modo con cui egli opera sulle correnti atmosferiche, benchè l' effetto sia poco dissimile.

I raggi calorifici del gran luminare investono fortemente l' atmosfera in tutta la sua profondità, dagli strati più eccelsi e più rarefatti sino ai più brevi e più densi; anzi riscaldano questi ultimi più dei primi. Per lo contrario il calorico del sole ha molta efficacia sugli strati superficiali del mare, e poca sugli strati profondi, per la doppia ragione che l' acqua è un cattivo conduttore del calorico, ed ha un gran potere assorbente. D'altra

parte le leggi idrostatiche vogliono che gli strati più caldi e quindi più leggeri stieno al di sopra, e che l'acqua, raffreddandosi, e quindi facendosi più densa, discenda a maggiore profondità. Di qui nasce che la temperatura dell' Oceano decresca dalla superficie sino al fondo, ove suol regnare la temperatura zero, punto di massima densità dell'acqua salsa dei mari, essendo il punto di congelazione due gradi sotto lo zero; mentre nei luoghi di acqua dolce il fondo non può avere una temperatura al di sotto dei quattro gradi sopra zero, tale essendo la temperatura di massima densità dell'acqua pura.

Notiamo per incidenza col Maury, che, essendo il limite della congelazione dell'acqua marina due gradi più giù che il limite di congelazione dell'acqua dolce, è questa una circostanza favorevole alla razza umana, perchè lascia aperta alla navigazione, in inverno, una maggiore estensione di mari; ma che una circostanza anche più fortunata, è la leggerezza specifica del ghiaccio e la sua poca conducibilità del calorico. Imperciocchè se il ghiaccio fosse più pesante dell'acqua a parità di volume, esso ostruirebbe il fondo dei mari e dei fiumi, ed in pochi giorni colmerebbe l'alveo di questi sino al ciglio delle ripe, onde anche la più mediocre quantità d'acqua liquida che rimanesse, produrrebbe un' inondazione. Ma nel modo in cui ora vanno le cose, avviene che essendo la gravità specifica del ghiaccio poco più di nove decimi di quella dell'acqua, appena incominciano a formarsi i primi aghetti, o spicule, del gelo, in una parte qualunque della massa liquida, queste spicule salgono a galla, a guisa di sughero, e si uniscono le une alle altre formando un compatto ed uniforme strato, di maggiore o minor grossezza secondo l'intensità del freddo: ma siccome il ghiaccio è un cattivo conduttore del calorico, questo gelido

velo protegge in gran parte da ulteriore raffreddamento la sottoposta massa liquida, e la solida lastra s' ingrossa incomparabilmente meno che non farebbe se ella fosse una buona conduttrice del calore.

Nondimeno è bèn certa cosa che il calore solare, tanto per effetto della ineguale dilatazione, quanto per mezzo della ancor più ineguale evaporazione, tende a rimescolare continuamente le acque dell' Oceano, dall' equatore ai poli, e dai poli all' equatore, rovesciando le più alte sommità delle calde e dilatate acque equatoriali verso i poli, e facendo rifluire le fredde e più pesanti acque dei mari settentrionali verso i mari tropicali, per le vie più profonde. Un siffatto rimescolamento delle acque del mare, benchè meno attivo di quello delle colonne atmosferiche, deve nondimeno ottenere un effetto simile a quello di cui parlammo più largamente nella precedente lezione. Le acque marine tenderanno dunque a prendere una certa velocità media fra tutte, e quindi maggiore della velocità di rivoluzione della terra vicino ai poli, ma minore di essa vicino all' equatore. Per conseguenza ulteriore le acque marine avranno una prevalente tendenza a formare una grandiosa corrente che vada da levante a ponente fra i due paralelli neutri, e due altre grandi correnti le quali procedano da ponente a levante fra i paralelli neutri ed i poli.

I due paralelli neutri dell' Oceano però non possono coincidere con quelli di 35 gradi che sono i paralelli neutri dell' atmosfera. Debbe esservi una differenza sensibile, quantunque non grandissima, non solo per la ragione della disugualissima distribuzione e profondità dei mari, in luogo della quasi uniforme distribuzione e profondità dell' Oceano atmosferico, ma ancora perchè se il mare coprisse tutta la terra ad egual profondità, ed i suoi moti non soffrissero alcun impedimento per

la resistenza del fondo e delle ripe, il mare finirebbe col prendere la velocità media, non già corrispondente all'attual somma di forze vive (la somma dei prodotti che nascono moltiplicando ogni elemento della massa pel quadrato della rispettiva velocità) ma bensì quella corrispondente alla totale *quantità di moto*, cioè alla somma dei prodotti che si ottengono moltiplicando ciascun elemento della massa per la semplice velocità rispettiva, non essendo l'acqua un corpo elastico come l'aria. Il calcolo integrale, applicato a tale ipotesi, assegna pei due paralelli neutri dell'Oceano, esteso equabilmente per tutta la terra, la latitudine non di 35, ma di 38 gradi. (*)

(*) Più esattamente: 38° 14' 33". La dimostrazione dipende dall'integrale del prodotto della massa elementare

$$2\ \pi\ r\ Cos.\ dx$$

per la semplice velocità $w\ r\ Cos.\ x$, essendo u la velocità angolare, e perciò wr la velocità assoluta; il quale integrale, definito fra i limiti

$$-\ 90^{\circ},\ \mathrm{e}\ +\ 90^{\circ},$$

diviene

$$\pi^2\ r^3\ w.$$

Ma questa espressione eguaglia

$$4\ \pi\ r^2 \times \frac{1}{4}\ \pi\ r\ w,$$

cioè la superficie della sfera moltiplicata per la velocità del paralello il cui coseno eguaglia l'ottava parte della circonferenza. Ora l'arco il cui coseno ha un tal valore è

$$38^{\circ}\ 14'\ 33''.$$

Digitized by Google

Gli effetti contrarii delle correnti acquee che vengono dai poli all' equatore, e delle controcorrenti che dall' equatore ritornano ai poli, deve pure rendersi a noi sensibile; ma in un modo press' a poco contrario a quello dei venti; conciossiachè noi siamo esposti alla corrente degli strati inferiori dell' atmosfera, ma non vediamo che le correnti degli strati superiori dell' Oceano.

Per la qual cagione, la direzion media delle correnti marine, nelle diverse latitudini, percorrendo la diagonale del paralellogrammo determinato dalla forza paralella all' equatore, che è nello stesso senso di quella dell' atmosfera, e dalla forza perpendicolare all' equatore, la quale è nel senso opposto di quella dell' atmosfera, dovrebbe fare incirca un angolo retto colla direzione delle correnti aeree: l' angolo però di queste due direzioni è generalmente meno aperto. La ragione si è che le correnti aeree, mescolandosi, rilevandosi e rafforzandosi una coll' altra, assai più rapidamente che le marittime, ed avendo una molto maggiore velocità, prevalgono di leggeri ad imprimere in parte la loro propria direzione dominante alle correnti superficiali del mare. Vero è nondimeno che la posizione dei continenti, delle isole e delle montagne, esercita sulle correnti oceaniche una influenza perturbatrice, di gran lunga più forte di quella cui esercitano le catene di montagne sui venti.

La più grande fra le correnti maritime è naturalmente l' equatoriale, cioè quella che ha luogo fra i tropici, ed anche parecchi gradi di qua e di là della zona torrida, tanto nell' Atlantico come nell' Oceano Pacifico. Questa maestosa corrente muovesi, come i venti alisei, da levante a ponente, o nel senso del moto apparente del sole, e perciò contrario al moto reale della terra: ma, diversamente dai venti alisei, invece di tendere al medesimo tempo verso l' equatore, la gran corrente ma-

ritima tira ad allontanarsene, facendo così un angolo poco minore di novanta gradi colla direzione dei venti, come già avvertii che doveva essere.

Le si attribuisce una velocità media di circa dieci miglia Inglesi, o sedici chilometri al giorno, dall'est all'ovest. Chiaro così diviene che, tanto per ragione dei venti, come delle correnti acquee, un viaggio di circumnavigazione attorno al globo riuscirà più breve e più comodo procedendo da oriente ad occidente, di quello che nella direzione opposta. A questa regola conformossi il grande Cristoforo Colombo nel recarsi a scoprire l'America, e l'illustre navigatore Portoghese Magellano, al quale è dovuto il primo viaggio di circumnavigazione: imperciocchè avendo costui salpato dai lidi della Spagna il 20 Settembre 1519 in capo ad una squadra Spagnuola, fece rotta verso il sud-ovest, e passò lo stretto, che giustamente ha preso il di lui nome, fra la Terra del Fuoco e la punta meridionale dell'America; e di là veleggiò sino alle isole Filippine, dove sventuratamente egli perì. Ma l'Italiano Pigafetta, cogli altri compagni superstiti di Magellano, compì il memorando giro, recandosi dalle Filippine al capo di Buona Speranza, punta meridionale dell'Affrica, e di là fece ritorno in Europa.

Le navi a vela hanno maggior bisogno di tener conto delle correnti aeree ed acquee; ma nei lunghi viaggi, anche i piroscafi (navi a vapore, da *pyr* fuoco, *scapha* battello) possono e debbono profittare delle une e delle altre. Perciò nei rapidi viaggi di circumnavigazione che ora si eseguiscono o si propongono, prese le mosse dall'Europa, si va per bastimento a vapore alla Nuova York in America; di là per la grande ferrovia del Pacifico si va a San Francisco di California. Dalla California con altro piroscafo, che all'occasione profitti anche del vento colle sue vele, si percorre un quarto incirca

della circonferenza del globo attraverso al grande Oceano Pacifico, e, passata una prima volta la linea equinoziale si tocca l'Australia. Di là, chi non mirasse che al più sollecito ritorno, verrebbe direttamente a Suez; ma, per visitare ancora la parte più importante dell'Asia, dopo di aver ripassato l'equatore, si toccano il Giappone, la China, e l'India, e dall'India si viene al Mar Rosso ed a Suez. Infine, dopo aver traversato l'Istmo pel nuovo canale, o giratovi attorno per la ferrovia del Cairo e di Alessandria, si corre per lungo il Mediterraneo e si rivede l'Europa.

Se voi faceste un simile viaggio, od un altro viaggio qualunque di navigazione intorno al globo nel senso conforme al moto apparente del sole, al vostro ritorno vi accorgereste che i giorni da voi contati nel viaggio sono uno di meno di quelli contati dai rimasti in patria. All'incontro se un altro fosse partito al medesimo istante della vostra partenza, e tornato pure allo stesso momento del vostro arrivo, ma avendo fatto il giro del globo nella direzione opposta, costui avrebbe contato un giorno di più di quelli rimasti in Europa, e due giorni più di voi. (*) Questa curiosa differenza di computo non implica

(*) Per ispiegare in un modo facile e popolare questa differenza, la quale suol imbrogliar la testa anche dei marinai, imaginatevi che io e voi partiamo da Bologna tutti e due al mezzogiorno di Lunedì, ma in direzioni opposte, e con tanta velocità da poter compiere il giro della terra in 24 ore. Io passo le Alpi, l'Atlantico, l'America, il Pacifico, ma mi veggo sempre il sole sul capo, e credo che sia sempre quello stesso giorno di Lunedì, anche quando arrivo a casa dalla parte opposta, al mezzogiorno di Martedì. Voi all'incontro, dopo tre ore vi accorgete che tramonta il sole alle vostre spalle; indi avete una notte di sei ore; e

una reale differenza di tempo: ma è ben probabile che colui il quale compiesse il viaggio nel senso contrario al moto apparente del sole, anche usando egual diligenza e sollecitudine, e servendosi di mezzi di trasporto egualmente perfetti, troverebbe fra il tempo del suo e del vostro viaggio una differenza non illusoria ma reale, molto maggiore di due giorni, perchè egli avrebbe contrarie le grandi correnti atmosferiche e marine, e voi le avreste favorevoli.

La gran corrente maritima equatoriale, trovandosi sbarrato il cammino per traverso in tre luoghi, cioè dal continente Americano, dalle grandi isole dell'Oceania, e dall'Affrica, dà necessariamente origine a delle controcorrenti laterali. La più celebre di queste correnti laterali, e la più importante per noi Europei, la gran corrente Atlantica, è chiamata dagli Inglesi il *Gulph-Stream*, o corrente del Golfo, perchè ella prende le mosse

---

dopo tre altre ore, arrivate agli antipodi, dove il sole sembra giunto al meridiano, venendo dalla parte opposta. Voi allora dite: è il mezzogiorno di Martedì, mentre gli orologi di Bologna suonano la mezzanotte che termina il Lunedì. Voi continuate la vostra rapidissima corsa, e dopo tre ore tramonta di nuovo il sole alle vostre spalle. Dopo altre sei ore egli sembra risorgervi di fronte, e voi dite: è il mattino di Mercoledì: tre ore ancora, cioè ventiquattr'ore dopo la vostra partenza secondo la nostra ipotesi, voi siete tornato a Bologna, ed il sole vi sta sul capo. Voi credete che sia il mezzogiorno di Mercoledì e non è che il mezzogiorno del Martedì: ma fra me, che commetto l'errore di credere che sia ancora il Lunedì, e voi che credete di esser già al Mercoledì, c'è una differenza apparente di due interi giorni.

In qualunque modo si faccia il giro della terra, c'è sempre la stessa differenza di un giorno, in più od in meno, dal computo di coloro che rimangono fermi.

dal Golfo del Messico. Essa percorre diagonalmente l'Atlantico con una grande velocità, e con una temperatura notabilmente alta. È una specie di immenso fiume di acqua salata e tiepida che ha per fondo e per ripe dell'altra acqua salsa, ma più fredda, ed in paragone del quale sono semplici ruscelli i maggiori fiumi del globo. Basti il dire che la sua larghezza media è valutata 111 chilometri, con una profondità media di quasi un chilometro; e che il volume di acque trasportate dal Gulph Stream all'Oceano Artico, secondo i calcoli di Maury, supera quello di tre mila Missisipì. Con un paragone più facile ad apprezzarsi da noi Italiani si direbbe che la corrente Atlantica in un dato tempo porta al mare Artico una quantità di acqua centomila volte più grande di quella cui porta il Po al mare Adriatico.

I venti occidentali, che prevalgono nelle nostre latitudini (Lez. prec.) rapiscono a questo immenso fiume di acqua tiepida una porzione del suo calorico, e la spandono sull'Europa. Questa cagione, come già osservai, cospira colla posizione quasi centrale dell'Europa in mezzo all'emisfero di massima abitabilità, per dare alla nostra parte di mondo, ed in particolare alla verde Irlanda, ed alla nebbiosa, ma sempre ubertosa Inghilterra, una temperatura media assai superiore a quella cui godono le altre regioni della terra e del mare, ad egual latitudine.

LEZIONE XXXXIII

Meteorologia *(parte terza)*

Le Nuvole.

Como.

Se altri lascia per qualche tempo esposto all'aria un vaso pieno di acqua sino all' orlo, anche senza che alcuno attinga di quell' acqua, essa si vede calare di giorno in giorno, tanto che, in capo ad alcune settimane, il vaso resta asciutto. Dove è andata quell' acqua? Il volgo dice ch'ella si è consumata da sè. Ma ciò non è mica vero. Nulla giammai si distrugge in Natura. Può cambiarsi e cambia di continuo la forma delle cose, ma la sostanza rimane eterna. Quell' acqua è stata convertita in vapore, ed invisibilmente alzata e mescolata coll' aria. Un tal fenomeno si chiama evaporazione. L' evaporazione è tanto più rapida quanto maggiore è la temperatura del liquido e dell' aria. Il calore del sole vaporizza continuamente una immensa quantità di acqua dalle piante, dall' umida superficie della terra, dai fiumi, dai laghi, e più specialmente dal mare. Il vapore è dapprima invisibile e trasparente come l' aria; ed essendo più leggero di essa, tende a sollevarsi alle regioni superiori dell' atmosfera. Ma ivi regna una temperatura più bassa che non è alla superficie della terra. Ora i vapori tutti sono soggetti a

questa legge, che, dato lo spazio ove il vapore può espandersi, e data la temperatura e pressione che regna in quello spazio, vi è una determinata quantità e peso di vapore che *sàtura* quello spazio, ossia che è la maggiore che vi si possa contenere. La quantità di vapore atta a saturare un dato spazio è tanto maggiore quanto più alta è la temperatura. Allorchè uno spazio è saturo di vapore, se viene ad abbassarsi la temperatura, od accrescersi la pressione, una parte del vapore è costretta a riconvertirsi in acqua liquida.

Il vapore è diàfano, invisibile, elastico, come l'aria. La di lui densità, a temperatura e pressione ordinaria, è minore di quella dell'aria, e quindi molto minore dell'acqua che lo generò. Colla pressione o tensione di una atmosfera, ed alla temperatura dell'acqua bollente, la densità del vapore è circa cinque undicesimi di quella dell'aria alla temperatura zero, o cinque ottavi della densità cui avrebbe l'aria alla temperatura dell'acqua bollente. Un pollice cubico d'acqua convertito in vapore entro uno spazio chiuso, alla temperatura e pressione ordinaria dell'acqua bollente, espandesi fino al volume di quasi un piede cubico, occupando egli uno spazio 1705 volte maggiore che quando era allo stato liquido. (*)

La densità e quindi il peso assoluto di vapore che ci vuole per saturare un dato spazio, cresce in un rapporto estremamente più forte che la temperatura. Così a 100 gradi il vapore a saturazione ha la densità cui ho già accennato, ed una elasticità, pressione, o tensione di un'atmosfera: cioè egli preme come l'aria a livello

(*) Il piede cubico contiene 1728 pollici cubici, poichè

$$12 \times 12 \times 12 = 1728.$$

del mare, od in ragione di un chilogrammo per centimetro quadro; più esattamente 1.^{k} 0333. Alla temperatura di 121 gradi il vapore ha già una densità doppia della precedente, ed una tensione di due atmosfere; a 144° ha una tensione di quattro atmosfere; a 180° dieci atmosfere. Invece, discendendo la scala termometrica, la densità e la tensione del vapore calano con altrettanta rapidità. Infatti ad 82° la tensione è già ridotta ad una mezza atmosfera; a 50° non è più che un ottavo di atmosfera; a 37°, che è un po' meno della temperatura del sangue umano, la tensione diviene un diciassettesimo di atmosfera; a 20° un quarantaquattresimo, a 10° un ottantesimo, ed a zero appena un centocinquantesimo; insomma a zero il vapore non ha che una tensione equivalente alla pressione di uno strato di mercurio alto cinque millimetri.

Se lo spazio saturo di vapore non contiene altro che esso vapore, la conversione di una parte di questo vapore in acqua, allo abbassarsi della temperatura, o all'accrescersi della pressione, è immediata; e l'acqua condensata assume l'ordinario aspetto di acqua liquida: ma se il vapore è mescolato all'aria o ad altro gas, il vapore si condensa sparpagliatamente in un gran numero di piccolissime gocciole, o di vescichette acquee.

Ora, esiste sempre una maggiore o minor quantità di vapore nell'aria, ma per lo più esso non la satura, e così egli rimane invisibile come l'aria stessa. Ma se per eccessivo accumularsi di nuovo vapore, o per abbassamento di temperatura, l'aria diventa più che satura di vapore, una parte di questo convertesi immediatamente in acqua. Quest'acqua forma dapprima delle gocciole, o bollicine, di tale tenuità da non potersi discernere una per una, ma elleno dansi a conoscere nella lor moltitudine rifrangendo in mille sensi diversi la luce, e togliendo così all'atmosfera la trasparenza. Per tal modo

Digitized by Google

quelle gocciolette o bollicine formano ciò che si chiama la nebbia, se elleno sono vicine a terra, e le nuvole se sono più in alto; così che potrebbe dirsi che la nebbia è una nuvola bassa, e la nuvola è una nebbia alta.

Ma i costituenti delle nuvole, sono eglino in verità goccioline piene, o bollicelle vuote? Secondo l'ipotesi di Halley, ammessa dalla maggior parte dei fisici, gli elementi delle nuvole sarebbero veramente bollicelle, ossia minutissime vescichette acquee piene di aria, come le bolle di sapone. Secondo altri sarebbero vere gocciolette. Io preferisco l'ipotesi di Halley, perchè essa spiega meglio dell'altra la sospensione in aria, e la forma unita, ma di piccolissima gravità specifica, delle nuvole. Se le sferette sono piene, o vere gocciole, esse debbono cadere continuamente. È ben vero che, supposta una grandissima tenuità della gocciola, essa può impiegar molto tempo a cadere: imperciocchè la resistenza dell'aria cresce come il quadrato della velocità, e come il quadrato del diametro della gocciola, mentre il suo peso cresce come il cubo del diametro; laonde, quando la resistenza dell'aria è divenuta eguale al peso della gocciola, e la velocità si è perciò fatta uniforme, questa velocità sarà proporzionale alla radice del diametro. Se questo fosse la trecentesima parte di un millimetro, la velocità costante della caduta, per un'aria di densità normale, sarebbe un metro al secondo. Una gocciola, liquida o gelata, di un millimetro di diametro, giunta a velocità costante, percorrerebbe circa diciassette metri al secondo. Per poter sostenere l'ipotesi delle nubi formate di goccioline, bisognerebbe supporre che queste si vaporizzassero di nuovo nello scendere, e fossero surrogate da altrettanto vapore che si condensa in goccioline per di sopra. Questo è infatti il modo con cui gli avversarii dell'ipotesi Halleiana, spiegano la permanenza delle nuvole. Ma cotesti fisici

danno così a dividere che patiscono del più comune difetto dei naturalisti d' oggidì; la deficienza nel calcolo delle probabilità, o nell'istinto di esso calcolo. Non nego che si possa facilmente concepire la possibilità di un tale scambio, da verificarsi una volta in cento anni, una volta in cento giorni, e da durare qualche minuto, un'ora, per largheggiarvi di concessione: nego recisamente la probabilità che in quella ipotesi le nuvole abbiano a serbare dappertutto e sempre una permanenza di molte ore, o di molti giorni.

All' incontro è ben facile spiegare la permanenza delle nuvole nell' ipotesi vescicolare. Imperciocchè ad eguaglianza di diametro fra una gocciola ed una vescichetta, quand' anche questa seconda fosse specificamente un po' più grave dell'aria, sarebbe sempre di gran lunga più leggera della gocciola, ed impiegherebbe molto maggior tempo a discendere: ma di più è ovvio il supporre che la vescichetta sia in molti casi più leggera dell' aria nella quale è immersa, perchè l' aria più calda cui essa contiene può darle gli attributi galleggianti di una piccola mongolfiera.

Questo per la possibilità della cosa. Che così poi avvenga in realtà, ne abbiamo un probabile argomento nel fatto che le gocciole, fintanto che non sono a contatto, non esercitano alcuna sensibile azione l' una sull' altra, ma appena si toccano anche in un punto solo, avviene che per la forza di capillarità elleno si confondono e ne formano una sola. All'incontro tutti possono aver osservato, dall' esempio delle bolle di sapone ed altre, che le bolle si attaccano bensì in una piccola parte comune della loro superficie, ma rimangono distinte, e quindi in un grande numero possono occupare un grande spazio con una forma poco variabile nel loro cumulo, e con un peso totale eguale o poco diverso da quello dell' aria

spostata. Considerate di più che le bolle non hanno che una piccola iridescenza, ma che le gocciole di rugiada, di pioggia, o di fontana, quando la luce del sole vi può giocare liberamente, fan sempre l'iride, mentre non si vede mai una nuvola iridescente, nè quando ella rifrange, nè quando riflette verso di noi i raggi solari.

Volete voi un' imitazione in piccolo, ma fedele, delle nuvole? Osservate il vapore condensato che si svolge dal cammino, dalla valvola di sicurezza, o dal fischio, della locomotiva o di altra macchina a vapore: vedrete non solo il bianco colore, ma ancora le volute graziose dei cumuli, e lo sfumare dei cirri, che sono le due forme più frequenti delle nuvole. Ne volete un'altro esempio anche più piccolo, ma più comune e più interessante? Osservate i fenomeni esterni del nostro àlito. In estate voi non lo vedete uscire dalla nostra bocca: d'inverno sì. Lo scorgete anche in estate fiatando contro una pulita lamina di acciaio. La temperatura della lamina, inferiore alla temperatura del sangue, e la conducibilità del metallo, determinano una continuata precipitazione del vapore della respirazione sopra la superficie della lamina, sotto forma di moltissime goccioline, forse provenienti dalla rottura e coalescenza di un maggior numero di vescichette di vapore condensato, non che dall'attrazione capillare del ferro per queste goccioline: ma esse, invece di essere disseminate sporadicamente, depositansi in prossimità l'una dell'altra, cosicchè l'appannamento nebuloso della superficie vienesi gradualmente estendendo, ma serbando una linea di confine abbastanza netta e definita fra la parte annebbiata e la parte lucida della lama. Questo è un esempio in miniatura di una tendenza che si manifesta in molti altri casi nella natura, e particolarmente e più in grande nelle nubi; tendenza alla quale io do il nome di *gregarietà*.

Digitized by Google

È facile il comprendere che questa parola deriva da un fatto comunissimo nel regno animale, cioè dalla tendenza di molti individui a formar *gregge* o stormo. Nel regno animale questo fatto è di capitale importanza, ed anche facilissimo a spiegarsi. Questo fenomeno si osserva pure molto comunemente nel regno vegetabile, ed in questo caso pure la spiegazione è facile, benchè diversa da quella che si adatta alla gregarietà propriamente detta, cioè a quella degli animali. Ma esiste pure il fatto analogo nel regno inorganico, benchè sinora non sia stato abbastanza osservato e considerato; e qui la spiegazione è difficile, e quando ella si trovi, probabilmente sarà, non solo diversissima da quelle che spontaneamente presentansi per la gregarietà animale e vegetabile, ma altresì diversa sostanzialmente da una ad altra categoria di gregarietà minerale. Ma la difficoltà di spiegare un fatto, non è al certo una ragione per negarlo: sarebbe piuttosto una ragione per istudiarlo più attentamente. Io non sono capace di spiegare le cagioni, identiche o varie, dei varii casi di gregarietà minerale; mi limiterò a definirla, ossia a far comprendere, che cosa io intenda con questa espressione di gregarietà minerale. Intendo per gregarietà minerale la moltiplicazione di fatti simili e vicini, non solamente per effetto di cause simili e comuni, ma ancora per l'influenza diretta cui ha un primo fatto a determinarne degli altri simili in prossimità di esso; i quali, alla lor volta, propagano una simile influenza in una sfera sempre più estesa. L'esempio più chiaro e più notabile della gregarietà minerale si ha nelle cristallizzazioni.

Un altro esempio di gregarietà minerale, men bello, ma egualmente chiaro del precedente, si ha nelle macchie di ruggine. Come si potrebbe egli ritenere, da chi possiede la più elementare teoria delle probabilita, o,

meglio che essa, l' istinto delle probabilità, o senso comune, che la ruggine manifestisi di preferenza in forma di macchia isolata, soltanto perchè quella tal parte della lamina metallica era accidentalmente tutta disposta a combinarsi coll' ossigene atmosferico, ed il resto della superficie non aveva tal tendenza? Il buon senso e la riflessione debbono farci comprendere, che sebbene sia certo che fra tutti gl' infiniti punti della superficie ve ne doveva essere uno un po' più disposto di tutti gli altri all' ossidazione, e che da quello probabilmente avrà avuto principio l'ossidazione effettiva, pure non è menomamente probabile che gli altri mille punti i più disposti all' ossidazione, subito dopo quello, si dovessero trovare tutti ad uno o due millimetri di distanza da quel primo punto, invece di essere sparsi in qua in là per la superficie della lamina. È chiaro, che oltre ad una certa disposizione lor propria, l' ossidazione di quei punti più vicini al primo è stata affrettata ed aiutata dal fatto dell'esser già avvenuta l' ossidazione di quel primo punto, indi degli altri più vicini, sino alla formazione della intera macchia attuale; ed è probabile che se altri non vi provvede, questa macchia si estenderà.

La forma generalmente unita, benchè variabile, delle nubi, dipende certamente dalla gregarietà dei loro elementi, allo stato nascente e dopo la formazione, qualunque poi sia la causa di siffatta gregarietà. Le figure delle nuvole, come tutti sanno, sono bizzarre e svariatissime; pur nondimeno presentano certi caratteri generali che han fatto ridurre le forme delle nuvole a tre o quattro categorie semplici, ed a tre o quattro categorie miste.

Si chiamano *cirri* quelle sottili nuvole che somigliano alquanto a delle falde di lana scardassata, cosicchè spesso lasciano un poco vedere il sole attraverso di esse. Sogliono anche avere una forma contorta e spirale,

donde deriva il loro nome di *cirri*, che in latino significa ricci. *Cumuli* si chiamano quelle nuvole più grosse, di forme rotondeggianti, quasi montagne accavallate le une sulle altre: *strati* quelle che sono disposte in istrati, o striscie orizzontali.

Le varie combinazioni di due di queste tre forme più semplici danno origine ai nomi composti di *cirro-cumuli*, *cirro-strati*, e *strato-cumuli*. Analogamente si chiama *cirro-strato-cumulo* la combinazione di tutte e tre le forme semplici. Infine si chiama *nimbo* una nereggiante nuvola che accenna a risolversi in immediata e dirotta pioggia.

LEZIONE XXXXIV

Altezza delle Nuvole.

L'altezza delle nuvole varia grandemente. D'Abadie in Etiopia osservò un *nimbo*, o nube temporalesca, ad una piccola altezza cui stimò non maggiore di 212 metri. Gay-Lussac nel suo secondo volo aereostatico, ad un'altezza di settemila metri, osservò dei cirri che sembravano a considerevole altezza sopra il suo pallone.

Sarebbe facile il calcolare l'altezza del limite inferiore delle nuvole, mediante l'igrometro e le tavole igrometriche confrontate con quelle dell'elasticità del vapore e dell'altimetria barometrica, se l'aria fosse perfettamente tranquilla, e non intervenisse la mescolanza delle colonne di varia temperatura ed umidità. Per esempio,

supponendo che la temperatura cali di un grado centigrado per ogni 150 metri di altezza, sarebbe prossimamente esatta la seguente tabella:

Temperatura sul suolo	Grado dell' igrom. Saussure a terra	Rapporto della tens. del vap. a terra, alla dens. di saturazione	Altezza ipotetica delle nuvole
0	100	1. 00	0
0	97	0. 93	150
0	95	0. 89	250
0	94	0. 87	300
0	89	0. 77	600
0	82	0. 65	1000
0	40	0. 21	3600
14	100	1. 00	0
14	95	0. 89	370
14	94	0. 87	450
14	92	0. 83	600
14	72	0. 50	2100
14	40	0. 21	4200
14	34	0. 17	4500
27	100	1. 00	0
27	95	0. 89	450
27	88	0. 75	1000
27	40	0. 21	4800

Infatti quando l' igrometro di Saussure (Lez. XXI, pag. 264) segna 100°, od il punto di saturazione, qualunque sia la temperatura l' altezza del limite inferiore delle nuvole sarebbe zero; cioè la nuvola raderà il suolo: in altri termini vi sarà la nebbia. Tuttavia, aprendo la finestra di un ambiente ove regni una temperatura superiore a quella dell' aria esterna, una parte dell' umi-

dità esterna penetrerà bensì nella camera, ma non basterà a saturar l'aria di essa, e quindi non manifesterassi allo stato di nebbia. Del resto la tavola è puramente ipotetica, e non già basata sulle osservazioni: anzi credo che quando si introdurrà un sistema razionale qualunque di stimar l'altezza delle nuvole, si troveranno delle forti discrepanze fra i risultati delle osservazioni, ed i numeri ipotetici dell'ultima colonna della nostra tavola. Non credo perciò che sia per esserci del tutto inutile averla sott'occhio.

Anche indipendentemente dagl' irregolari risultati prodotti dai venti, le nuvole saranno forse qualche volta più basse, ma generalmente più alte di quanto indicherebbe la tavola, per dati gradi del termometro e dell' igrometro a terra.

Tuttavia la precedente tavola ci aiuta a spiegare il fatto che le nuvole sono più alte in estate che in inverno, e più alte quando l'igrometro è basso, e viceversa. La tavola però è basata sopra un'ipotesi la quale non si verifica mai esattamente. L'ipotesi è che la densità del vapore nell'aria varii secondo la stessa legge della densità dell'aria stessa, cioè che l'altezza di uno strato orizzontale di vapore sia proporzionale alla differenza dei logaritmi delle due tensioni estreme. Questa ipotesi si verificherebbe forse esattamente in un'aria perfettamente quieta, ove non si succedessero continue variazioni di temperatura, di correnti orizzontali, e di evaporazione dal mare e dal suolo. Ma il fatto è che per tutto il tempo che non piove nè nevica, l'aria va ricevendo sempre nuovo vapore dalla superficie del mare e della terra, senza restituirgliene punto. Questi vapori innalzansi con moto continuo, ma lento; laonde gli strati inferiori debbono essere più carichi di umidità relativa che gli strati alti. Ma quando infine la saturazione è raggiunta ed ol-

trepassata, il cielo incomincia a restituire alla terra il di lei prestito. Vicino a quel limite le circostanze forse attagliansi all' ipotesi sovra cui è fondata la nostra tavola; la quale perciò, anche essendo non poco lontana dal vero nelle singole sue cifre, per quanto risguarda la maggior parte dei casi, pure non è destituita di qualche utilità come indicazione di una generica corrispondenza fra la condizione igrometrica e termometrica dell' aria alla superficie terrestre, ed i probabili limiti dell'altezza delle nubi.

Un mezzo diretto e più sicuro, ma sventuratamente troppo faticoso, di misurare l' altezza delle nuvole, consiste nell' osservazione barometrica al momento di entrare in una nube, o di uscirne, mentre si ascende una montagna, o si sale per aria in un pallone.

Per ben determinare l' altezza delle nuvole stando in basso, cogli ordinarii metodi trigonometrici, sarebbe di mestieri il poter osservare un dato punto della nuvola da due diverse stazioni di nota distanza fra loro; ma praticamente è vano un siffatto mezzo, a cagione della indeterminata forma delle nuvole, e della conseguente incertezza del punto identico al quale dovrebbero collimare gl' istrumenti.

Nella sera di un giorno vicino all' equinozio di primavera, tornando io da Parma a Bologna, corsemi al pensiero un mezzo pratico di poter determinare con discreta approssimazione al vero l' altezza delle nuvole nel mattino, o meglio nella sera, anche con una sola osservazione, per uno il quale navigasse in alto mare, o fosse anche a terra, ma senza alcuna catena di montagne interposta fra lui ed il sole che sorge o tramonta. Nascondevasi egli a me dietro il Monte Viso, 160 miglia a ponente del punto ov' io mi trovava della gran valle Lombarda, ed il cielo era quasi puro da quella parte. Davanti a me,

ad oriente, una vasta congerie di nuvole offriva il fantastico ma grazioso ed imponente aspetto di una catena di montagne, accavallate le une sulle altre, e di una vivacissima tinta bianco-rosata. L'altezza apparente di un cirro, il quale formava il punto culminante di questa gran catasta di nuvole, sull'orizzonte, era di circa trenta gradi. Quello splendido colore però andavasi di mano in mano estinguendo nelle nuvole più basse, e cambiavasi in nero-grigio. Dodici minuti dopo l'apparente tramonto del sole, il più elevato cirro, o la più alta cima di nuvola visibile agli occhi miei, divenne fosca alla sua volta.

Supponete che un simile spettacolo si presenti a voi in alto mare, od in una favorevole posizione a terra, come a Napoli, a Parigi, a Brest, a Bordeaux, a Lisbona, a Bristol, al Capo di Buona Speranza, a San Francisco di California, a Valparaiso, a Bombay, ed innumerevoli altri luoghi, per osservar le nuvole al cadere del sole; a Cartagena, a Catania, a Malta, a Mosca, a Madras, a Filadelfia, a Rio Janeiro, e tanti altri luoghi, per osservarle al nascer del giorno. Qualunque sia la posizione della nube che immergesi completamente nell'ombra, se voi avete notato coll'oriuolo l'istante dell'apparente tramonto del sole, e gl'istanti in cui la base e la cima della nube immergonsi successivamente nell'ombra, se di più voi conoscete la vostra posizione topografica, e la declinazione astronomica del sole in quel giorno, e se infine potete determinare, con un acconcio strumento, l'altezza apparente di quella base e di quella cima, ed i loro rispettivi *azimut*, insomma le loro posizioni angolari rispetto all'orizzonte ed al meridiano, voi ne avete abbastanza per poter determinare l'altezza reale di quella base e di quella cima di nuvola sul livello della pianura ove siete, e meglio poi sul livello del mare, qualora abbiate fatto l'osservazione in alto, o presso al mare. Quindi

ne avete abbastanza ancora per misurare la grossezza della nuvola. I dati del problema lo rendono, per sua natura, pienamente determinato. Il resto è semplice bisogna di calcolo.

Potrebbe tuttavia il calcolo riuscir fallace quando il tramonto apparente del sole fosse anticipato per l'interposizione di un alto e vicino edifizio fra voi e la nuvola di cui si tratta; od anche posticipato in grazia dell'esser voi a considerevole altezza sul livello del mare; ma è facilissimo evitar completamente questa causa d'errore sostituendo all'ora del tramonto accidentale quella che è regolarmente propria della vostra latitudine nel giorno dell'osservazione, ciò che si conosce mediante le tavole. Altra fonte d'errore sarebbe l'anticipazione del tramonto del sole rispetto alla nuvola da voi osservata, per l'interposizione di altra nuvola, o di una montagna: anzi questo caso sarà pur troppo frequente; ma l'essere una circostanza frequente non è lo stesso che il succeder sempre. Profittiamo intanto delle circostanze favorevoli per determinar l'altezza delle nuvole in dati casi speciali ben avverati; la scienza saprà estrarne delle regole generali, applicabili anche ai casi che sono sfavorevoli all'osservazione.

Il processo di osservazione e di calcolo sarebbe complicato anzichennò, quando aspirassimo a molta esattezza: ma facile e breve, contentandoci di una larga approssimazione. Ecco, per esempio, come io ragionai, strada facendo, nel caso speciale di cui ho parlato. Il Sole, nel suo apparente moto diurno, percorre quindici gradi dell'equatore, o di un paralello, in ogni ora; ossia percorre quindici minuti di grado in un minuto di tempo. Ogni minuto di grado sull'equatore è lungo un miglio italiano; ma non essendo la circonferenza del paralello medio di 45 gradi che sette decimi incirca, o più precisamente

707 millesimi, della circonferenza dell'equatore, ne viene che sotto questo paralello dodici minuti di tempo equivalgono a circa 127 miglia da 60 al grado. Ora siccome negli equinozii il sole tramonta precisamente a ponente, e siccome il mio oriuolo, poco importa com' egli sia regolato, mi avverte che il sole tramonta per la cima di nuvola da me osservata dodici minuti dopo ch' egli è tramontato per me, io son certo che nell' istante in cui il sole cessava di illuminar la cima della nuvola, egli tramontava o tramonterebbe per uno il quale abitasse sotto il mio medesimo paralello, ma a tre gradi di paralello, ossia 127 miglia Italiane, più a ponente di me, in una perfetta pianura. La supposizione che la pianura ove io era possa considerarsi qual parte regolare della superficie della sfera terrestre, è un po' troppo lungi dal vero; ma la terremo per esatta, solamente in via d' esempio, e per la semplificazione del calcolo.

Io so ancora, e me lo insegna la Geometria, che l' angolo formato dalla corda colla tangente del circolo è uguale a quello che si può fare nel segmento alterno, ed ha per misura la metà dell' arco sotteso dalla corda. Nel caso mio, metà reale e metà ipotetico, la periferia è quella del mio paralello; l' arco sotteso corrisponde a dodici minuti di tempo, o tre gradi di circolo, e la tangente è prossimamente rappresentata dal raggio solare che lambe ad un tempo il mio paralello e la cima della nuvola.

L' arco di paralello intercetto fra me ed il punto di contatto con questa tangente è lungo tre gradi; dunque l' angolo compreso fra la corda di quest' arco e la tangente vale un grado e mezzo. D' altronde ho appreso dalla Trigonometria che la corda è prossimamente eguale all' arco, quando questo è di pochissimi gradi; e che nel triangolo rettilineo i lati stanno fra di loro come i seni

degli angoli opposti, o dei loro supplementi. Ne deduco che in quel triangolo rettilineo i cui tre vertici sono il mio posto, la cima della nuvola, ed il punto ove il sole tramonta rispetto alla nuvola, i due lati che si dipartono da quest' ultimo punto sono incirca eguali fra loro; eccettuato il caso che l'altezza apparente della nuvola sull' orizzonte fosse molto piccola. Dunque il raggio di sole, che lambe da una parte la superficie della terra e dall' altra il vertice della nuvola, è lungo poco più di 127 miglia.

Qui mi viene in soccorso un altro bel teorema di Geometria elementare, dal quale ho che il quadrato della tangente eguaglia il rettangolo formato dalla secante intera e dal di lei segmento esterno. Ma siccome nel caso nostro la retta considerata sinora come tangente al mio parallelo è ancora tangente ad un circolo massimo della sfera terrestre, e l' altezza della nuvola sul suolo può risguardarsi come il segmento esterno di una secante la quale passa pel centro della sfera, e questo segmento è piccolissimo in paragone del diametro, così io posso ritenere che la tangente sia media proporzionale fra il diametro della terra e l'altezza della nuvola. Fo dunque il quadrato della tangente, cioè 127 per 127, che mi dà 16,129: divido questo quadrato pel diametro medio della terra, in miglia, che è prossimamente 6870; ed il quoziente 2. 34 mi dice che la ricercata altezza della nuvola è incirca due miglia e un terzo, o un poco più di 4 chilometri.

Tutto questo in via d' esempio, preso da un caso concreto, quale a me si presentò, ma semplificato. Il vero è che l' interposizione della gran catena delle Alpi, benchè la cresta, dalla parte d' occidente, distasse da me quasi 160 miglia, viziava in grado non trascurabile la mia conchiusione. La tangente condotta pel punto di contatto dianzi supposto, 127 miglia a ponente da me,

e quindi 33 miglia di qua della cresta Alpina, taglia la catena a 292 metri sul livello del mare, o circa due mila metri sotto la ondulata cresta. Fa di mestieri adunque aggiungere questi duemila metri all' altezza trovata col precedente calcolo, e dire che il cirro da me osservato era alto sei chilometri.

Ci sarebbe da detrarre qualche cosa, forse un settimo, per la rifrazione; ma trattandosi soltanto di una grossolana approssimazione, e volendo noi applicare questo metodo alla stima dell' altezza delle nuvole, non solo all'epoca precisa degli equinozii, ma per la maggior parte dell' anno, terremo che la correzione relativa all' approssimazione sia compensata da un' altra correzione che sarebbe da farsi in senso contrario, e dipendente dalla maggior lunghezza del crepuscolo.

Tali furono press' a poco i ragionamenti ed i calcoli mentali che io veniva facendo mentre il vapore a mediocre velocità mi riconduceva da Parma a Bologna. Chi amasse applicare questo metodo, in maniera comodissima, senza troppo curarsi di un probabile errore del dieci o del venti per cento, fissi nella sua memoria questi due semplici dati: in una illimitata pianura, l'altezza della nuvola che cessa d' essere illuminata dal sole poco dopo il tramonto è proporzionale al quadrato del tempo: un ritardo di sei minuti nell' imbrunirsi della nuvola dopo il tramonto del sole indica l' altezza di un chilometro incirca. Un ritardo doppio, ossia di dodici minuti. prescindendo dalla correzione dovuta all' interposizione delle montagne, darà dunque un' altezza quadrupla, ossia di quattro chilometri: un ritardo triplo darà un' altezza nove volte più forte; e via dicendo.

Bisognerebbe aggiugnere il dieci per cento incirca, o più, all' altezza così calcolata, se la nuvola sembra essere ad un' altezza di 20 gradi, o meno di 20 gradi, al-

l' est, e detrarre invece un decimo, o più di un decimo, se essa paresse alta venti gradi, o meno di venti gradi, verso l' ovest. Si può trascurare una siffatta correzione per altezze apparenti maggiori di venti in trenta gradi. Sarebbe mestieri bensì il fare una correzione sottrattiva molto più forte pei mesi del più lungo crepuscolo, cioè Maggio, Giugno, Luglio, ed Agosto. È poi ovvio il comprendere che la grossezza della nuvola sarà eguale all' altezza della cima, meno l' altezza della base.

Che se altri a sè proponesse il lodevole intento di ridur questo metodo a maggior precisione e generalità, e ad un tempo renderlo abbastanza popolare almeno sino al grado di farlo adottare presso i piccoli osservatorii meteorologici, ei dovrebbe istituire dei lunghi e non facili calcoli, e costruir delle apposite tavole, l' applicazione delle quali richiedesse soltanto delle computazioni facili e brevi.

È poi ancora facilissimo il comprendere come si possa applicare il metodo testè spiegato per la misura dell' altezza e grossezza delle nuvole nella sera, alla misura dell' altezza e grossezza delle nuvole che si possono osservare nel mattino al sorger del sole. Il tempo che deve servir di base al calcolo in questo caso, è l' intervallo che corre dal primo illuminarsi della cima e della base di una nuvola, pei raggi del sole nascente, sino all' istante in cui lo vediamo spuntare dall' orizzonte. Il rimanente del calcolo corre precisamente come nel caso delle nuvole osservate al tramonto del sole. Non è difficile neppure il comprendere come il medesimo processo di osservazione e di calcolo possa servire a determinar l' altezza e grossezza di una nuvola nella notte mediante il lume della luna, al sorgere o tramontare di essa. Solamente è da prendersi in considerazione la circostanza che la luna impiega nel suo giro apparente at-

Digitized by Google

torno alla terra, non 24 ore, ma 24 ore e 50 minuti; ond'è che in in un minuto di tempo ella sembra percorrere attorno alla terra non già un arco di 15 minuti di grado, ma soltanto di quattordici minuti e mezzo incirca.

Abbiam trovato il modo di stimare approssimatamente l'altezza di alcune nuvole nel mattino, nella sera, ed a varie ore della notte: resta che ne troviamo uno anche per iscoprir l'altezza di qualche nuvola in pieno giorno. Lo troveremo facilmente per quelle appunto fra tutte le nuvole che sono le più interessanti per noi, cioè per le nubi temporalesche. Vi si richiede però il concorso di due osservatori. Suppongo che siate in due in una camera, la di cui finestra vi presta una libera vista del cielo dalla parte del temporale ancor lontano. Collocatevi in mòdo da poter distinguere, attraverso ai vetri più alti, la cima delle nubi temporalesche. Tenetevi ben ritto in piedi, e al primo lampo che vi ferisce le pupille, cercate di fissare la lastra, o parte di lastra, attraverso alla quale vedeste la parte più alta di quel primo lampo. All'istante che l'avete veduto, voi emetteste dalla bocca un suono di avviso al vostro compagno. Costui tiene sott'occhio un oriuolo a secondi, od in mancanza di esso, il suo pollice destro sul polso sinistro. Conti egli i salterelli della lancetta a secondi, o le pulsazioni della sua arteria, fino a che gli giunga all'orecchio il principio del tuono. Abbiate pazienza tutti e due, e se le nuvole lampeggianti non sembrano bassissime sull'orizzonte, lo che indicherebbe che elleno sono lontanissime da voi, sentirete che il tuono arriverà infine, benchè con un ritardo così prolungato, che generalmente le persone non avvertiranno l'intima connessione di quel suono con quella luce. Anzi se le nuvole non appariscono elevate sull'orizzonte che di tre in quattro gradi, ciò che

accenna ad una distanza reale di ottanta e più chilometri, ben vediamo spesso il lor balenare, ma non udiamo rumore alcuno, o non ci badiamo, a stento potendosi udire da quella distanza anche le artiglierie da assedio: laonde il popolo suol dire che quello è un semplice lampeggiare di caldura, ignorando che coloro i quali stan sotto a quelle nubi sentiranno, più che del caldo, dei fortissimi tuoni, e fors' anche dei terribili fulmini.

Supponete che il vostro compagno abbia contato centottanta minuti secondi dal primo baleno al primo tuono: ciò prova che la distanza media, da voi alle due nuvole che sonosi scambiata la scarica elettrica, è di sessanta chilometri prossimamente; poichè il suono, secondo una regola facilissima, se non esattissima, impiega tre secondi a correre un chilometro.

Adesso dovete fare col vostro compagno un' altra operazione. Rimanendo voi ritto nella posizione di prima, e tenendo colla mano presso al vostro occhio il nodo fatto all' estremità di una funicella o filo, il vostro compagno stenderà questo filo o funicella sino a quella lastra o parte di lastra attraverso alla quale vi venne scorto il primo lampo. L' operazione riescirà più comoda e sicura, se gli spazii dei vetri delle finestre dell' osservatorio, destinate a cosiffatte osservazioni, saranno divisi in diversi strati orizzontali per mezzo di nastri tesi attraverso, ovvero di striscie opache e di diversa larghezza, praticate sul vetro, quand' egli era in posizione orizzontale, coll'aiuto del poter corrosivo proprio all' acido idrofluorico, e del potere preservativo della cera vergine. Misurate la lunghezza della funicella dall' occhio alla lastra, poi recatevi accosto alla finestra, sino a toccarne l' invetriata col volto, ed intanto il compagno misuri col filo, o direttamente col metro, la distanza verticale fra il vostro oc-

chio e quel punto della lastra alla quale fece capo il filo nella precedente misura.

Ciò fatto, procedete al seguente ragionamento: come la distanza che interveniva fra il mio occhio e la lastra nella prima posizione, sta all' altezza verticale della lastra medesima sul mio occhio, così la distanza del lampo da me sta alla sua altezza sul suolo, ossia all' altezza media delle nuvole che generarono il lampo. In tal guisa questa altezza, che era l' incognita del problema, resta appieno determinata con una facilissima *regola del tre.* (Lez. prima). A rigore si esigerebbe una correzione dovuta alla sfericità della terra, cioè di aggiugnere all' altezza trovata nel modo testè spiegato, una quantità che è terza proporzionale dopo il diametro della terra e la distanza orizzontale della nuvola. Così, nel precedente esempio, se aveste trovato che il filo tirato dapprima dal vostro occhio alla lastra della finestra era dieci volte più lungo di quello che misurava l' altezza verticale di questo vetro sul vostro occhio, avendovi il ritardo del tuono rivelato una distanza media da voi alle due nubi temporalesche, pari a sessanta chilometri, e pochissimo minore dovendo essere la loro distanza orizzontale da voi, ne trarrete per approssimata conseguenza che l' altezza media delle due nuvole è sei chilometri, o sei mila metri. La correzione per la sfericità esigerebbe l' addizione di

$$\frac{60,000 \times 60,000}{2 \times 6,366,000} = 282^{m}.$$

Ma è chiaro che la correzione potrebbe praticamente trascurarsi anche in siffatto caso; molto più ove si trattasse di distanze minori, poichè l' aberrazione di sfericità è proporzionale al quadrato della distanza.

Se il temporale fosse stato vicino, questo metodo

Digitized by Google

non sarebbe riuscito. Ma quel temporale che in questo momento è lontano per voi, è ben vicino ad altri; anzi non tarderà forse gran fatto ad arrivarvi addosso: e non havvi poi ragione di credere che i temporali i quali scoppieranno in altri giorni sul vostro capo, provengano da nuvole generalmente assai più alte, od assai più basse, in media, di quelle che formano i temporali a venti o trenta miglia da voi. Se dunque vi vien fatto, con molte misure ripetute in varii giorni ed in circostanze diversificate, di trovar l'altezza media delle nuvole temporalesche anche assai lontane da voi, ne trarrete una probabile congettura sull'altezza media delle nubi temporalesche che muggiscono o tempestano sopra di voi. Del rimanente, come voi potete con questo mezzo determinare l'altezza del temporale che scoppia lungi da voi, così altri osservatori, da voi lontani, possono al certo collo stesso metodo scoprire l'altezza del temporale che scoppia attorno a voi. Tenendo spiegata sul vostro tavolo una mappa della vostra provincia o regione, ed orientatala col mezzo di una bussola o col sussidio dell'ombra di uno spigolo di finestra a mezzogiorno, vi sarà facilissimo lo scoprire il distretto ove infierì il temporale di cui avete osservato i lampi, sol che prendiate col compasso, sulla scala appiedi della carta, la distanza cui avete trovata mediante il ritardo del tuono; indi, fissata una punta del compasso sul punto della carta che corrisponde alla posizione del vostro osservatorio, portate l'altra punta nella direzione in cui avete osservato i lampi. Questa seconda punta vi indicherà il luogo o distretto ove ha infierito il temporale. Voi noterete nel vostro giornale meteorologico: giorno tale, dall'ora tale alla tal altra, temporale a Budrio, ad Adria, sui colli Eugànei, sul lago d'Idro, o dove che sia; ed anche potrete trasmet-

terc altrove l'immediato avviso telegrafico. Verranno poi le relazioni di fatto dal luogo reale ove cadde la pioggia, o la grandine, e per avventura vi sarà dato di trarne delle conferme o rettificazioni del vostro processo di osservazioni e di calcolo, forse anche delle utili induzioni, o conseguenze generali. Se non sapete trarle voi direttamente, o non ve ne curate, voi almeno somministrerete dei preziosi materiali da costruzione ad uomini meno abil. o meno fortunati di voi nelle osservazioni di fatto, ma più di voi dotati del genio sintetico, necessario all'erezione effettiva del grande edifizio scientifico.

E per fermo, qualora ci venga fatto di ridurre ad un sistema praticamente facile, e di una discreta precisione, l'osservazione delle nuvole, vantaggerassene in grado non lieve la parte teorica della Meteorologia, e possibilmente anche quella parte di essa la quale sarebbe la più utile ed importante, ma che per isventura è tuttora bambina, anzi meno che bambina, poichè ella deve nascere, cioè il pronostico del buono e cattivo tempo. Un altro avviamento a quella lontana ma desiderabile meta, sarebbe il poter determinare in ogni giorno dell'anno, e nelle varie regioni, le relative durate ed estensioni del cielo nuvoloso e del cielo sereno.

Comincierò dal far riflettere che la cognizione assoluta della quantità totale di tempo che il sole dardeggia direttamente i suoi raggi, in un giorno, in un mese, in un anno, sopra un dato luogo, sarebbe già un elemento meteorologico importante per sè stesso: ma la Filosofia del calcolo delle probabilità (Lezioni VIII, XII) ci conduce ad argomentare dalla durata dell'illuminazione diretta anche l'estensione relativa della parte serena e della parte velata del cielo sopra una data regione, durante il giorno. Imperciocchè il rapporto medio dell'estensione della parte serena, all'estensione della parte

nuvolosa della volta celeste, dev' essere ad un bell' incirca eguale al rapporto del tempo dell' illuminazione diretta, al tempo dell' illuminazione velata, nelle ore diurne. Infatti, se noi abbiamo entro un' urna un numero grandissimo e noto di palle di egual forma e grandezza, ma di diverso colore, e non ci è dato di conoscere il preciso numero delle palle di uno od altro colore, noi possiam giugnere ad una probabile congettura intorno al numero rispettivo delle palle di ciascun colore, estraendone anche soltanto un numero molto minore del numero totale delle palle, purchè il numero delle palle estratte sia abbastanza grande in sè stesso. Il rapporto dei numeri delle palle di diverso colore dentro l' urna è probabilmente e prossimamente eguale al rapporto che corre fra i numeri delle palle estratte di diverso colore; e la probabilità ed approssimazione saranno tanto più grandi quanto maggiore è il numero di palle estratte in via di saggio.

Voi, per cagion d' esempio, sapete che l' urna contiene in tutto tre mila palle bianche o nere, ma ignorate quante sieno precisamente queste o quelle. Dopo di avere sufficientemente agitato la grande urna, voi ne cavate dugento palle bianche, e cento palle nere. Dite pure, senza gran tema di errare, che il numero totale delle palle bianche era incirca due mila, e quello delle palle nere scostavasi di ben poco dal migliaio. Che se anche vi fosse ignoto il numero totale delle palle che si racchiudevano originariamente nell' urna, ma scorgete che il numero delle palle bianche estratte è doppio del numero delle palle nere estratte, voi potete aver per cosa probabilissima che anche dentro l' urna il numero delle bianche era incirca doppio del numero delle nere.

Ergasi alla sommità dell' osservatorio meteorologico una scatola chiusa d' ogn' intorno, di forma parallelepipeda, smussata a 45° in uno degli spigoli più lunghi.

La smussatura dev' essere formata di una lastra sottile, e nel mezzo di essa sarà praticata una piccola apertura circolare od ellittica, attraverso alla quale passerà la luce del sole. La scatola giacerà in posizione stabile, col fondo orizzontale, e colla smussatura guardante a mezzogiorno. Sul fondo poserà una carta, sopra la quale, coi noti metodi della Gnomonica, furono delineate a stampa la meridiana ed altre trenta rette, convergenti al così detto *punto orario,* per indicare il tempo vero locale, d' ora in ora, e di dieci in dieci minuti, dalle sette del mattino alle cinque pomeridiane, al momento che il fascio dei raggi solari colpisce una qualunque di queste linee orarie (*). Questa stessa carta sarà stata resa sensibile all' azione attinica del sole, con un acconcio mezzo fotografico; ed essa dev' essere cambiata di tempo in tempo, ed anche ogni sera nei giorni prossimi ai solstizii. La luce penetrata pel foro avrà tracciato sulla carta una linea prossimamente retta nei giorni equinoziali, e delle ipèrboli differenti una dall' altra negli altri

(*) È chiaro che questa sarebbe una specie particolare di orologio orizzontale. Il *punto orario* non è altro che l' intersezione del piano in cui sono descritte le linee orarie, colla retta condotta per la punta dello stile, o, nel nostro caso, pel centro del foro, paralellamente all' asse del mondo, e quindi facendo colla meridiana un angolo eguale alla latitudine del luogo. È facile il condurre da questo punto tutte le linee orarie desiderate, dovendo esse fare colla meridiana un angolo il quale verifichi la nota formola:

$$\text{tangente } h = \text{tangente } H \times \text{seno } L;$$

dove L è la latitudine, H gli angoli orarii equatoriali, in ragione di 15° per ogni ora, ed h gli angoli orarii orizzontali corrispondenti.

Digitized by Google

giorni dell'anno. Levando queste carte dalla oscura scatola, si scorgerà a colpo d'occhio in quali e quante ore, o parti di ora, il sole fosse scoperto o velato da nubi; e se ne farà nota nel quotidiano registro. Ed il rilievo sarà facile, perchè mentre le altre parti della carta rimangono bianche o quasi bianche, quelle che sono state colpite dal fascio di luce saranno più o meno imbrunite: ma questa traccia bruna formerà una linea continua, fra le due estreme linee orarie, od una linea interrotta. Se la traccia oscura è una linea continua, essa significa che il sole non fu mai velato dalle sette del mattino sino alle cinque della sera; se la traccia è interrotta, si vedrà come e dove lo sia; e le linee orarie fisse, prossime ai confini dei varii archi della curva diurna, diranno a quali momenti cessò di splendere il sole, in quali altri momenti ei ricomparve.

Se si volessero le indicazioni corrispondenti alle altre ore diurne più prossime al levar del sole o al tramonto, si potrebbe praticare un piccolo pertugio nella parete orientale della scatola, ed altro simile nella parete occidentale, rivestendole entrambe di cartoncini fotograficamente sensibilizzati, dopo che vi fossero state impresse le linee orarie, le quali sarebbero qui tutte paralelle fra loro, ed all'asse terrestre.

E per la notte? Questa è una domanda, la quale non mancherà forse di essermi rivolta da qualcheduno. Io gliene farò un'altra. Se voi comandaste una città assediata, od in procinto di esserlo, credete voi per avventura che fareste prova di una profonda capacità militare trascurando di tenere degli esploratori sulla più alta torre della città, col pretesto che questo mezzo non giova a nulla di notte? Spiate intanto le mosse del nemico almeno durante il giorno, od in una parte del giorno, se non potete far altro. Ma nel caso nostro speciale noi

siamo in grado di spiarlo anche di notte, od almeno per quasi la metà delle ore notturne in tutto l'anno. Imperciocchè se la carta è preparata coi più acconci mezzi fotografici, le diverrà possibile il mostrarci una debole traccia anche del lume di luna, passante per l'orifizio del coperchio. Ora le linee orarie che servono col sole, possono servire altresì ad indicare il tempo per mezzo della luce lunare, purchè alle indicazioni che varrebbero pel sole voi facciate l'aggiunta o la sottrazione della differenza che corre fra il passaggio del sole e quello della luna pel meridiano: differenza indicata giorno per giorno dalle effemeridi astronomiche.

La proporzione media approssimata della parte serena della volta atmosferica, alla total estensione della superficie sferica, sarà prossimamente identica al rapporto del numero totale di ore e minuti in cui il sole e la luna hanno segnato una traccia oscura sulla carta al tempo totale in cui essi avrebber potuto segnare una simile traccia, per la situazione di quei due astri, e per la conformazione speciale dello strumento, se non vi fosse stata alcuna nube. Così sarete in grado di notare, giorno per giorno, con una cifra decimale, l'approssimata e probabile estensione della parte serena del cielo, in paragone di tutta la superficie della volta celeste: come 1. 00, tutto sereno; 0. 00, tutto nuvolo; 0. 66, un terzo nuvolo, ed il resto sereno; ecc.

Lascierò ad altri il merito di completare e tradurre in atto questo mio concetto, come molti altri, che io non avrei nè il tempo, nè la speciale attitudine di eseguire. È palese che lo strumento da me proposto, chiamatelo poi *etrìmetro,* da *aethrios,* sereno, o come volete, sarebbe del genere *autografico*, o di quelli che scrivono da sè le proprie indicazioni. Nondimeno gli ordinarii istrumenti meteorologici registranti da

sè le proprie indicazioni sono basati sopra altri principii. Il concetto geometrico-meccanico al quale sònosi ispirati i loro costruttori, come il *meteorografo* del Secchi, che figurò vantaggiosamente nella esposizione di Parigi del 1867, è quello dell'indicatore di Watt, per misurare il lavoro delle macchine a vapore a pressione variabile. Nelle macchine a vapore il moto del cilindro, nei meteorografi un orologio, fan girare un cilindro al quale è avvolto un cartoncino: ogni speciale istrumento meteorologico, per esempio un termometro metallico, un barometro aneroide, un anemometro o indicatore della forza del vento, per mezzo di opportune trasmissioni di moto fa salire o discendere verticalmente una punta di lapis, la quale segna una curva sul cartoncino. Svolto che sia questo cartoncino, le ascisse orizzontali della curva indicano il tempo, e le ordinate verticali somministrano le varie indicazioni proprie dello strumento, come temperatura, pressione atmosferica, forza del vento, e via dicendo. L'orologio motore dovrebbe essere regolato a tempo vero locale piuttosto che a tempo medio.

Prima di por termine a questa lezione intorno alle nubi, piacemi di spiegare il grazioso fenomeno dei raggi solari che divergono da una nuvola: fenomeno il quale non credo sia stato ancora esattamente interpretato da altri, quantunque una tale interpretazione non sia difficile.

Si crede generalmente, e si insegna in alcuni trattati di Meteorologia, che quelli sieno raggi diretti del sole: questo però è un grosso errore. Se fossero raggi che direttamente si partissero dal sole, essi ci comparirebbero non come notabilmente divergenti, ma paralelli, attesa l'enorme distanza del sole da noi, in paragone della distanza e delle dimensioni di una nuvola. Quelli in verità son raggi solari non diretti, ma doppiamente riflessi.

Per produr questo fenomeno fa d'uopo che vi concorrano almeno tre nuvole. Una prima nuvola riceve i raggi diretti del sole, e li riflette in varie direzioni, quindi ancora verso una seconda nuvola, interposta fra noi e la prima nuvola. Questa prima nuvola, conseguentemente, non apparisce agli occhi nostri; ma per delle aperture o vani qualunque, esistenti nella seconda nuvola a noi più vicina e visibile, ovvero per gl' intervalli di varie nuvole che sembran formarne una sola, i raggi solari rimandati dalla prima nuvola vengono ad illuminare dei milioni e milioni di corpuscoli, solidi o liquidi, che sempre nuotano o lentamente cadono per l' aria. Questi corpuscoli riflettono quella luce in tutte le direzioni, e quindi ne inviano una parte ancora agli occhi nostri.

I raggi riflessi, provenienti dalla prima nuvola a noi nascosta, nel passare che fanno attraverso ai fori della seconda nuvola a noi più vicina, acquistano una considerevole divergenza; imperciocchè le dimensioni di questa seconda nuvola sono tutt' altro che infinitesimali o trascurabili, in paragone della reciproca distanza delle due nuvole. Nondimeno, per render sensibili a noi questi raggi riflessi che divergono dalla prima nuvola, non basta la presenza degl' innumerevoli corpuscoli atmosferici che esistono fra noi e la seconda nuvola, negli spazii cilindrici percorsi da quei fasci divergenti di luce; si richiede ancora l' opera di una terza nuvola, la quale getti nell' ombra una gran parte dello spazio interposto fra noi e la seconda nuvola, affinchè pel contrasto della maggiore o minor quantità di luce riflessa, fra tutti i corpuscoli sparsi indifferentemente per l' aria facciano una notabile impressione negli occhi nostri quei soli corpuscoli che si trovano illuminati dai raggi divergenti, mandati dalla prima nuvola. È la medesima causa fisica

e fisiologica, per cui noi scorgiamo benissimo il pulviscolo nuotante per l'aria, nel cono o cilindro di luce solare che penetra per una limitata apertura in una camera: ma non siamo in grado di distinguere quello stesso pulviscolo all' ombra, perchè non vi è sufficiente quantità di luce; nè all'aria aperta, illuminata dal sole; perchè ivi i nostri occhi sono sopraffatti e quasi abbagliati da una troppo grande quantità di luce in tutte le direzioni.

LEZIONE XXXXV

Pioggia e Neve.

Milano, Cento.

Le nuvole, la pioggia, e la rugiada hanno una causa comune, benchè, come ognuno sa, differentissimi sieno gli effetti. La comune causa sta in un raffreddamento dell' aria il quale produce la saturazione del vapore discioltto nell' aria stessa, quindi il condensamento e la precipitazione di una parte di questo vapore.

Il raffreddamento al quale è dovuta in ispecie la formazione della rugiada, dipende principalmente dal calorico raggiato dai corpi terreni verso gli spazii celesti. Il Dottor Wells osservò che i termometri posti sulla terra nelle notti tranquille e serene indicano una temperatura di quattro in cinque ed anche sino ad otto gradi di Fa-

renheit, o incirca da due in quattro gradi centigradi, (*) al di sotto della temperatura segnata da un termometro simile, sospeso ad un' altezza di quattro piedi (1.m 22) sul terreno.

Quando vi sono le nuvole ciò non accade, perchè esse rimandano ingiù, per riflessione, una parte del calorico raggiato verso di loro: forse ancora perchè irraggiano verso la terra una parte del loro proprio calorico, reso libero all' atto del condensamento, di latente ch'egli era, allorchè l'acqua, passata ora allo stato vescicolare, trovavasi allo stato di vero vapore aeriforme.

Il vapore condensato in rugiada sull' erba, ad una temperatura superiore a zero, suol prendere la rotonda forma di gocciole; ma ad una temperatura al di sotto di zero la rugiada congélasi, e diviene brina.

Non difficile poi mi sembra la spiegazione della pioggia dietro l'ipotesi dei vapori vesicolari. Infatti è agevole il concepire che, di mano in mano che formasi una nuova quantità di vapori vesicolari, le vescichette elementari, per un eccesso di mutua pressione, schiacceranno si le une colle altre, e scoppieranno. Lo stesso effetto potrebbe aver luogo per la dilatazione dell' aria interna della vescichetta, in seguito alla diminuzione della pressione esterna, o più spesso ancora per un cambiamento avvenuto nell' elettricità della nuvola. Avvenuta la rottura dell' inviluppo, e cessata o modifi-

(*) Nove gradi di Farenheit equivalgono a cinque di Celsio, o centigradi, ossia a 4° di Réaumur. Il termometro di Farenheit, usato in Inghilterra ed in America, divide in 180° l'intervallo fra la temperatura dell' acqua bollente e quella del ghiaccio che si scioglie, collocando lo zero a 32 gradi suoi sotto l' anzidetto punto di congelazione, quindi il numero di 212° al punto di ebullizione.

cata l' ignota azione molecolare che manteneva l' acqua nella forma di sottilissimo inviluppo sferico; riprende il suo impero l' ordinaria forza capillare, la quale porta le molecole liquide ad attrarsi in modo da formare delle gocciole, o sfere piene, e le gocciole minori a conglobarsi in gocciole più grandi (Lez. XXVI). Queste gocciole, piccole o grandi, discenderanno con velocità accelerata sino al punto che la resistenza dell' aria eguagli il peso della gocciola. La resistenza dell' aria è proporzionale al quadrato della velocità della gocciola, ed al quadrato del suo raggio, mentre il peso della gocciola è proporzionale al cubo del raggio stesso. Ne segue che la velocità della gocciola caduta, quando tale velocità è divenuta uniforme, è proporzionale alla radice quadra del diametro. La stessa regola vale per la velocità permanente nella caduta delle palle di grandine, o di altro corpo di forma prossimamente sferica. E siccome d' altronde l' effetto della percossa è proporzionale alla forza viva subitamente estinta, cioè alla massa del corpo percuziente, moltiplicata pel quadrato della sua velocità, se ne trae che il guasto cui può recare una palla di grandine è proporzionale al biquadrato, o quarta potenza, del diametro.

La velocità uniforme alla quale può arrivare una gocciolina il cui diametro è sei centesimi di millimetro sarebbe incirca un metro: col diametro di un centimetro la velocità divenuta uniforme sarebbe di tredici metri al secondo, o quella cui acquisterebbe un corpo, liberamente cadendo senza alcuna resistenza dalla mediocre altezza di otto metri. L' *altezza dovuta* alla velocità divenuta uniforme, è proporzionale al diametro: così una palla di grandine grossa *due* centimetri cadrebbe con una velocità effettiva eguale a quella a cui giugnerebbe cadendo senza resistenza da un' altezza *doppia* di otto, ossia sedici metri; ecc.

Digitized by Google

Se l'aria ove la nuvola tende a risolversi in pioggia è ad una temperatura inferiore al limite di congelazione, e non avvi straordinario intervento di elettricità, le gocciolette nell'atto stesso della loro formazione, o nel cadere, divengono fiocchi di neve, con varie ma sempre graziose forme di stelle a sei raggi, essendo l'esagono la forma prevalente della cristalizzazione dell'acqua. Se non solo la temperatura dello strato atmosferico ove la nube tende a sciogliersi in pioggia è al di sotto dello zero, ma di più avvi un forte intervento di elettricità, come avvenir suole in estate, invece di pioggia o di neve si ha la devastatrice meteora della grandine.

La neve, ed in generale i corpi leggeri di una forma oblunga, descrivono in aria degli zigzag, e perciò impiegano un tempo considerevolmente maggiore per discendere a terra di quello cui impiegherebbe un corpo sferico di egual peso e volume:. imperciocchè il tempo che si richiede ad un corpo per discendere per la lunghezza di un piano inclinato sta al tempo che ci vorrebbe a discendere verticalmente per l'altezza del piano stesso, nel rapporto delle rispettive linee di discesa. La ragione per la quale le cartoline, i fiocchi di neve, ed altri corpicciuoli di forma assai diversa dalla sferica, discendono a zigzag, è la loro doppia tendenza a concepire un moto rotatorio, ed a percorrere la linea di minor resistenza dell'aria, la qual linea è sempre nella direzione della punta più bassa, mentre il moto rotatorio fa sì che ora sia più bassa l'una, ora l'altra delle due opposte punte.

Volete voi, o signori, una piccola ma fedele imitazione dei grandi fenomeni delle nuvole e delle pioggie? Osservate la colonna biancastra che innalzasi al di sopra della locomotiva di un treno di strada ferrata, od altra macchina a vapore, quando la leva mossa dal macchinista,

Digitized by Google

o la forza spontanea del vapore, solleva la valvola di sicurezza. Ovvero osservate quella più ampia colonna che esce dal cammino della locomotiva, e che è per lo più una mescolanza di vapore condensato e di fumo, ma qualche volta solo vapore condensato, senza fumo. Vi scorgerete persino la più bella e più frequente forma delle nuvole, quella dei cumuli. Volete un' altra imitazione delle nuvole, anche più in piccolo, ma di un genere per noi più interessante? Badate al fenomeno del vostro àlito. Di estate voi non lo vedete uscir dalla bocca; di inverno lo vedete. Lo potete scorgere però anche in estate fiatando contro una pulita superficie metallica. Come avviene ciò?

Avviene perchè il sangue tanto venoso che arterioso contiene una grande quantità di acqua. Secondo Liebig esso ne contiene circa l' 80 per 100. Quest'acqua contenuta nel sangue, circolando per le arterie e per le vene arriva a quell' ammirabile focolare del polmone: ivi ella innalza alquanto la propria temperatura, per la combustione del carbonio e dell' idrogene del sangue, ed essendo libera di espandersi, una parte di essa convertesi in vapore. Questo vapore esce dapprima allo stato di vero vapore, cioè aeriforme ed invisibile, commisto al gas acido carbonico, al gas azoto, ed a quella parte dell' ossigene che non si è combinata col carbonio nè coll' idrogene del sangue. C' è stata un' altra parte di gas ossigene atmosferico, che combinata col carbonio del sangue, ha generato il gas acido carbonico; un' altra porzione dello stesso gas ossigene, combinata coll' idrogene del sangue nei vasi di circolazione, o nel polmone stesso, ha generato l' acqua od il vapore. La temperatura di questa mescolanza, nel percorrere ch' ella fece, uscendo, i bronchi, la trachea e la bocca, era la temperatura generale dell' interno del corpo umano, val a dire 37 gradi

incirca: il vapore esiste in troppo piccola proporzione in quella mescolanza, per saturarla a quella temperatura, e ben anche ad una temperatura poco al di sopra dei dieci gradi. Ma se la temperatura dell'aria è al di sotto di questo limite, non vi è calorico sufficiente per mantenere allo stato aeriforme tutto il vapore uscito dalla bocca: laonde una parte di questo vapore è costretta a precipitarsi, convertendosi in bollicine visibili di acqua.

Sotto un certo aspetto nulla può esservi di più dissimile dai fenomeni della respirazione di quello che le nubi dell' atmosfera. Pur nondimeno queste due cose hanno fra loro alcuni indubitabili rapporti di somiglianza; primieramente la circostanza che il calorico in ambi i casi riduce a vapore una certa quantità di umore acqueo; vapore che rimane invisibile fintantochè l'ambiente non ne è saturo, ma che si rende visibile sotto una forma nebulosa allorchè il freddo abbassa il limite di saturazione: ed in secondo luogo avvi di comune, fra le circostanze dei due gruppi di fenomeni, una perpetua circolazione, la quale serve nell' uno e nell' altro caso ai più benefici e providi intenti della Natura.

Imperciocchè il cuore opera alternativamente come pompa *aspirante* per tirar a sè il sangue col suo movimento muscolare di espansione, o di *diàstole*, e come pompa *premente* per respingerlo fuori di sè, mediante la *sìstole*, o moto muscolare di contrazione. Così, colla diastole il cuore attrae dalle vene alle sue cavità destre il sangue, e colla sistole lo sospinge nei polmoni. Quivi, mercè l'endòsmosi e l'esòsmosi, ossia lo scambio dei fluidi attraverso alle membrane, il sangue impuro viene in contatto coll' aria, cui l'espansione del torace aspirò a guisa di mantice. Una parte dell' ossigene dell' aria combinasi immediatamente con una parte del carbonio del sangue,

Digitized by Google

e forma l'ècebo, o gas acido carbonico; un'altra parte dell'ossigene combinasi immediatamente con una parte dell'idrogene del sangue, e forma dell'acqua: altra porzione del gas ossigene è assorbita dal sangue, e lo segue nel torrente della circolazione per operarvi più lentamente gli stessi due atti chimici.

Le quattro vene polmonari conducono dal polmone al cuore quello che fu già impuro e porporino sangue venoso, ora trasformato in rubicondo e puro sangue arterioso. Il cuore trasmette questo sangue ossigenato da una delle sue quattro cavità, chiamata l'orecchietta sinistra, al sinistro ventricolo, e da questa sua seconda cavità lo sospinge entro quella grande arteria che si chiama l'aorta. L'aorta ascende e ridiscende, e dopo aver attraversato il diafragma, che separa il petto, o torace, dal basso ventre, l'aorta dirama il sangue alle minori arterie: queste lo impartono ai minuti vasi capillari; i vasi capillari lo trasmettono alle piccole vene. Le piccole vene confluiscono da tutte le parti del corpo alle due grandi vene cave, inferiore e superiore, ed infine le due vene cave lo conducono alla orecchietta destra del cuore. L'orecchietta destra contraesi e spinge il sangue venoso nel ventricolo destro del cuore stesso; e questo ventricolo destro, il quale erasi allargato per ricevere il sangue dall'orecchietta sua compagna, ora si contrae, chiude una valvola, e ne apre un'altra, per ricacciare lo stesso sangue nel polmone. Così con perpetua vicenda il sangue sparge e mantiene in tutte le più minute parti della macchina umana il calore, la forza, il nutrimento, la vita.

Per analogo modo il calore del sole solleva dalla vasta superficie del mare i vapori dapprima diafani ed invisibili. La propria forza espansiva del vapore, ed i venti lo portano sopra la terra, ed ivi per eccessivo accumu-

larsi di lui, o per abbassata temperatura, l'aria divien più che satura di vapore, il quale fassi visibile sotto forma di nube. Ma il soverchio accumularsi delle vescicole, ovvero una causa elettrica, od anche forse il distrutto equilibrio barometrico fra la pressione dell'aria esterna coll'aria interna delle vescichette, fa scoppiar queste, e le riunisce in gocciole. Queste cadono sul suolo in forma di pioggia o di neve.

La pioggia e le fontane, alimentate dalle nevi delle alte montagne, umettano il suolo, e vi fanno prosperare una verdeggiante ed ubertosa vegetazione. Il soverchio della pioggia raccogliesi nei ruscelli; i ruscelli confluiscono ai torrenti, e questi formano i fiumi; i quali, restituendo con filiale tributo sotto la primitiva forma di acqua tutto ciò cui l'aria ricevette allo stato di vapore, mantengono inesausto il loro padre, l'Oceano.

Un'altra porzione del vapore atmosferico, aeriforme o condensato in pioggia ed in rugiada, alimenta le piante. Le piante sostengono gli animali, fornendo ad essi il cibo: ma gli animali dal canto loro retribuiscono ai vegetabili i ricevuti doni, fecondandone le radici coll'azoto contenuto nei rifiuti del lor nutrimento, e coll'espandere nell'atmosfera, mediante la respirazione, quello stesso gas acido carbonico di cui si nutrono le foglie, e per esse tutta la pianta; mentre le foglie restituiscono all'atmosfera il gas ossigene, che è la parte vitale dell'aria respirata dagli animali.

Digitized by Google

LEZIONE XXXXVI

Elettricità atmosferica.

Imola, Rimini.

Allorchè i nostri contadini odono il tuono, sogliono dire che è il Principe delle tenebre che conduce sua moglie in carrozza. Una volta forse prestavano fede davvero ad una tanta assurdità; oggi non ne parlano che col sorriso sulle labbra. Se per altro vi prendesse talento d'interrogarli in qual modo avvenga realmente il tuono, essi sarebbero senza dubbio nella impossibilità di sapervelo dire. E nondimeno parmi opera assai più utile che difficile il portar l'educazione popolare a tal grado che anche gli operai campagnuoli potessero comprendere i più fondamentali principii della Fisica. I più semplici rudimenti della scienza della Natura servirebbero non solo a dileguare dalla lor mente una moltitudine di superstizioni ridicole, ma ancora di pratico aiuto nell'esercizio della loro professione. Chi è, d'altra parte, che possa arrogarsi un maggior diritto di possedere una qualche istruzione, almeno elementare, sui grandi fenomeni della Natura, di quello che gli abitatori del contado, i quali ne sono i testimonii quotidiani?

Quanto facile cosa sarebbe, per cagion d'esempio,

l'avere in ogni scuola principale dei comuni rurali una macchina elettrica, della quale il maestro ordinario potesse giovarsi per una istruzione, non disgiunta dal diletto, dei giovinetti suoi allievi! Quanto poco ancor costerebbe, in paragone del frutto, che un maestro straordinario visitasse successivamente, per turno, le scuole domenicali o serali, onde impartire un' istruzione alquanto più avanzata agli adulti, sussidiata anche qui dall' allettamento delle più facili esperienze, ed in particolare delle elettriche, le quali sogliono produrre negli spettatori, non solo intellettualmente, ma anche fisicamente, una più viva impressione che le altre!

Ben poco ci vorrebbe, in verità, a dire a cotesti discepoli, teneri od adulti: questo disco di vetro, strofinandosi, nel girare, contro ai cuscinetti, rapisce ad essi dell' elettricità: per la qual cosa esso disco càricasi di elettricità in eccesso, o di elettricità positiva, detta ancora elettricità vitrea: conseguentemente i cuscinetti rimangono impoveriti della ordinaria quantità di elettrico che loro sarebbe naturale; perciò si suol dire dai fisici che i cuscinetti càricansi (*) di elettricità negativa, chiamata altresì elettricità resinosa. Se non che facendo co-

(*) Seguo spesso, benchè non sempre nè rigorosamente, il sistema da me predicato nella lezione X, pag. 125, di render più chiara la nostra lingua, senza introdurre alcun neologismo, coll' applicare una sola fra due parole che sono egualmente di buona lingua, ma di significato ambiguo e promiscuo, ad esprimere costantemente una data idea, e l'altra parola ad esprimere l'altra idea; preferendo la parola o modo più comune e più comodo per l' idea di più frequente uso. Così io dico per esempio *si veggono*, invece del Francese *on les voit*, altri li vede: *vedonsi*, in luogo di *ils se voient*, cioè veggono sè stessi.

Digitized by Google

municare i cuscinetti, mediante una catenella metallica, colla terra, questa restituisce di mano in mano ai cuscinetti l'elettricità a lor rapita dal disco di vetro; e questo disco manda una parte del suo eccesso d'elettricità al vicino conduttore metallico, il quale per tal guisa caricasi di elettricità positiva, purchè disco e conduttore sieno isolati (Lez. XXIII).

Le due testè nominate specie, o modalità di elettricismo, la positiva o vitrea, e la negativa o resinosa, comportansi l'una verso dell'altra in modo alquanto analogo a quello dei due sessi fra gli animali. Così l'elettricità positiva, chiamiamola per facilità di spiegazione *elettricismo maschio*, corre avidamente verso l'elettricità *femminea*, o resinosa: e viceversa. E questa reciproca attrazione delle due elettricità contrarie fa sì che l'elettricismo maschio sembra fuggire dagli altri elettricismi maschili, onde meglio ubbidire alla natural sua propensione per l'elettricità femminea. Il simile fa quest'ultima. Essa fugge, o fuggir sembra, da ogni altra elettricità femminile, per correr dietro all'elettricismo maschio.

Badate ora, potrebbe aggiugnere il maestro, a ciò che sta per succedere mentre io accosterò la mia mano al conduttore della macchina elettrica. Ecco che io ne traggo una forte scintilla, e voi sentite al medesimo tempo uno scoppio. Or bene: sappiate che questa è una fedele copia, in miniatura, del tuono e del baleno. L'elettricità statica, sviluppata da questa piccola macchina, è identica a quell'elettricità che crea i temporali nella grande macchina dell'atmosfera terrestre: il baleno o lampo, non è altro che la scintilla; lo scoppio è il tuono. Allorchè la scarica succede dalla nuvola alla terra, o dalla terra alla nuvola, è un fulmine.

La durata del lampo è brevissima. Rood, col mezzo

di un disco girante con estrema velocità, ed in cui erano praticate delle fessure radiali, ha trovato che il lampo dura la mille e cinquecentesima parte di un secondo. Sembra ch' egli duri di più, a cagione della persistenza delle imagini nella rètina dell' occhio.

La produzione del rumore della scarica elettrica, rumore che noi chiamiamo tuono, è contemporanea a quella della luce, o lampo, e perciò brevissima, o quasi istantanea ancor essa: se non che la velocità della luce è quasi un milione di volte più grande che quella del suono. Imperciocchè la luce percorre 300 mila chilometri al secondo; il suono nell' aria non percorre che 333 metri al secondo, quando la temperatura è zero, qualunque sia la pressione, e quindi a tutte le altezze; con un piccolo aumento se la temperatura è superiore a zero, cioè di sei decimetri per ogni grado centigrado; laonde a dieci gradi sopra zero, che sarà incirca la media fra la temperatura delle alte nubi temporalesche e quella del suolo, la velocità sarà di circa 340 metri al secondo. Il rumore del tuono ci giugne perciò con un ritardo molto sensibile, in paragone della vista del lampo. Inoltre le contemporanee scariche elettriche di diverse nubi a diversa distanza da noi, e l' eco il quale palleggia anche un medesimo suono da una nube ad un'altra, dalla terra alle nuvole, e dalle nuvole di rimando alla terra, fan sì che mentre i lampi anche diversi sembrano formarne uno solo quasi istantaneo, il tuono prolungasi per molti secondi, con terrore delle anime deboli, ma facendo una impressione solenne, sublime, ed in parte anche dilettevole, nelle persone di tempra gagliarda e poetica. Perciò il popolo più imaginoso dell' antichità, i Greci, ed il più forte, cioè i Romani, attribuirono a Giove, padre degli Dei e degli uomini, il tuono, egualmente che il fulmine. Lo sparo delle più grosse artiglierie fra le montagne, o

sotto un cielo nuvoloso, produce una serie di prolungate detonazioni, simili al più possente rombo del tuono.

Vano è lo spavento di quelli che attendono lo scoppio del fulmine dopo che han veduto il baleno. Se avete il tempo di pensar al fulmine dopo il baleno, il pericolo di esser colpito da quello è già passato.

Io porto opinione che l' elettricità atmosferica provenga in gran parte dall' azione de' raggi solari, in gran parte dalla confricazione dei varii strati dell' aria fra loro o colla terra; certamente ella proviene in parte anche dall' evaporazione. Infatti nello evaporarsi che fa l' acqua, specialmente ove essa tenga in soluzione dei sali, come l' acqua del mare e delle piante, ha luogo uno squilibrio elettrico: il vapore che ascende caricasi *in più;* l' acqua che resta caricasi *in meno.* Per questa o per altra ragione, suol dominare alla superficie della terra l' elettricità negativa; nell' aria e nelle nuvole l' elettricità positiva. Sembra però che l' elettricità negativa domini anche nell' interno della massa terrestre, e forte indizio ne è il fatto, che mentre le acque di fiume e le altre esposte all' aria dan segni di debole elettricità positiva, le esperienze del Bertelli in Italia nel 1861, e quelle dello Scoutetten in Francia nel 1863, hanno provato che le acque minerali, calde o fredde, prese alla sorgente, si manifestano fortemente cariche di elettricità negativa. È questa, lo dirò per incidenza, una delle ragioni per cui è più salubre il passeggiare nei luoghi elevati ed aperti: imperciocchè una moderata quantità di elettricismo positivo è più omogenea alla macchina umana, voglio dire più a lei confacente, di quello che l' elettricità negativa: in quel modo che un moderato calore è più geniale e più utile del freddo agli animali ed alle piante.

Una delle ragioni per cui i temporali sono più frequenti

Digitized by Google

nei paesi caldi che nei freddi, ed in estate più che nelle altre stagioni, è che il maggior calore produce una più copiosa evaporazione, e quindi un più rigoglioso sviluppo di elettricità. Inoltre essendo le variazioni di temperatura la principal causa dei venti, è natural cosa che nei paesi meridionali ed in estate lèvinsi più facilmente che in altre circostanze dei venti irregolari ed impetuosi. Mescolandosi dei venti che provengono da diversi paesi o da diverse altezze atmosferiche, nasceranno altresì delle mescolanze di diverse temperature e diverse elettricità. Ora la mescolanza di due volumi d'aria a diversa temperatura, ma ognuno contenente una quantità di invisibile vapore vicino al rispettivo limite di saturazione, produce di leggieri la precipitazione di una parte di questo vapore, e la conseguente formazione di una nuvola; conciossiachè la tensione del vapore a saturazione cresce e cala molto più rapidamente che la temperatura.

Le varie nuvole così formate saranno qualche volta dotate di elettricità opposte; più spesso di elettricità positiva, ma in diverso grado. Se una nuvola elettrizzata in più avvicinasi ad una elettrizzata negativamente, succede una scarica. Anche quando una prima nuvola elettrizzata positivamente, ossia in eccesso, vien posta in presenza di una seconda nuvola allo stato neutro, questa seconda nuvola elettrìzzasi *per induzione*, o, come ancora dicono i Fisici, *per influenza;* val a dire che i due fluidi elettrici di questa nuvola neutra sepàransi: quasi che uno di essi, cioè il negativo, o, diremo così, *femmineo*, volesse accostarsi all'amico fluido positivo, o maschile, della nuvola positiva, mentre il fluido maschile della nuvola neutra tende ad allontanarsi quanto più può dall'antipatico omonimo della nuvola positiva, rifuggendosi all'estremità opposta di essa nuvola neutra. Anzi, se questa seconda nuvola, nello scompiglio delle

correnti aeree, viene a toccare comunque una terza nuvola, la quale sia neutra essa pure, avverrà che, per allontanarsi sempre più dall'odiato fluido maschio della nuvola positiva, il fluido maschio della seconda nuvola si slancierà, quasi in luogo di rifugio, nella nuvola terza.

Spero che mi condonerete, o signori, queste m tafore di elettricità maschia e femmina, ed altre analoghe, le quali certamente non hanno la pretesa di convenire ad uno stile puramente scientifico; e indovinerete che me ne sono ripetutamente servito, soltanto per parlare in modo più efficace alla vostra imaginazione, e tener luogo, per quanto è possibile, delle figure e delle macchine che non posso porvi sott'occhio.

Forse avrei potuto servirmi di due altre espressioni, *elettricità solare*, ed *elettricità terrestre*, egualmente nuove, ma apparentemente più nobili che quelle di elettricità maschile e femminea; e forse ancora quelle altre due espressioni sarebbero più vere ed esatte, e perciò realmente più scientifiche di quelle di elettricità positiva o vitrea, e di elettricità negativa, o resinosa: ma non bisogna abusare di espressioni le quali assumano come un fatto già ammesso, ciò che ancora è nulla più di un' ardita ipotesi.

Così pure non sono da prendersi con iscrupolo o pedantesco rigore le espressioni di *fluido positivo*, e *fluido negativo*. Può darsi, anzi credo positivamente probabile, che l'elettricità non sia nemmeno un vero fluido imponderabile; molto meno poi un fluido nel senso ordinario della parola fluido, ma soltanto uno special sistema di vibrazioni nell'etere. L'ipotesi Frankliniana di un unico fluido elettrico, il quale col suo eccesso produce i fenomeni dell'elettricità positiva, e col suo difetto produce i fenomeni dell'elettricità negativa, con distinzione analoga a quella del freddo e del caldo, è certa-

mente più semplice che l'ipotesi di Symmer sui due opposti fluidi elettrici, uno vitreo e l'altro resinoso: ma la semplicità di un'ipotesi non è sufficiente argomento della sua realtà. Si intendano dunque le espressioni di fluido positivo e negativo, di elettrizzamento in *più* od in *meno*, delle quali mi valgo ad imitazione di tanti altri fisici, come semplici modi convenzionali, e comodi per farsi agevolmente comprendere in una materia per sè oscurissima.

Mercè tali espedienti io sarò forse riuscito a dispor la vostra mente a comprendere con sufficiente chiarezza che, se nello scombussolamento ventoso che precede il temporale, la nuvola seconda od intermedia viene di nuovo separata dalla terza, questa terza nuvola rimarrà effettivamente elettrizzata in più, perchè ella ha acquistato del fluido positivo; e la seconda nuvola rimarrà definitivamente elettrizzata in meno, dappoichè essa ha perduto soltanto del fluido positivo, e non del negativo. Allora la tensione elettrica della prima nuvola, che è rimasta positiva, verso la seconda che è divenuta negativa, vince la resistenza dell'aria intermedia, e genera una forte scarica immediata dalla prima alla seconda, con simultanea produzione di lampo e di tuono. Può ancora accadere assai facilmente che le due nuvole, positiva e negativa, accostandosi di più a cagion della mutua attrazione, terminino col confondersi, e formare una sola nube. In questa crisi, l'effetto meccanico od elettrico della compenetrazione delle due nuvole schiaccia e rompe i tenui inviluppi dei vapori vesicolari, e li risolve in dirotto acquazzone.

Dirotto acquazzone, se la temperatura in quell'alta regione era al di sopra del punto di congelazione; altrimenti sarà tempesta, voglio dir grandine. Imperciocchè allora, invece di goccioline che scendono dalla nube, e

nel cadere divengono gocciole grossissime perchè scendono attraverso a degli strati vicini alla saturazione del vapore, e ne promuovono una rapida precipitazione anche per elettrica attrazione, avverrà che si formino nelle nubi stesse dei piccoli aghi di ghiaccio. Ma questi piccoli aghi, o spìcule, di gelo, provenienti dalle rotte bollicelle delle due nuvole compenetrate, hanno ereditato da esse delle elettricità di opposto nome, le quali, come sapete, reciprocamente si attraggono. Accade adunque che gli aghetti elettrizzati positivamente, e quelli elettrizzati in meno, si corrono incontro gli uni cogli altri, ed unisconsi fra loro, neutralizzando in pari tempo, o, se più vi piace quest' altra parola, *maritando* insieme le loro rispettive elettricità. Ogni nucleo neutro così formato è però ancora un centro di attrazione per tutti i vicini aghetti, sieno essi elettricamente positivi o negativi; i quali conseguentemente corrono d' ognintorno ad ingrossare quel nucleo, e formano una palla, rotonda od ovale, di gragnuola. Ma queste palle di gragnuola, mentre accelerano la loro velocità nel discendere, si vanno sventuratamente ingrossando viepiù, per nuovi tributi. Laonde se le nuvole tempestose sono molto alte, o più fortemente elettrizzate del solito, esse daranno una grandine secca, grossa, devastatrice; se sono basse, o mediocremente elettrizzate, danno una gragnuola mista a pioggia.

È a dolersi che sieno tornati infruttuosi i tentativi di stabilire un sistema di paragràndini, ad imitazione dei parafulmini. L' elettricità generatrice della grandine è troppo in alto per sentir l' influenza delle punte colle quali si pretendeva di scaricarla. Formate poi le palle di grandine, ed incominciata la caduta, è chiaro che le aste dei paragrandini non le devieranno; molto meno le fermeranno per aria, come nella fratesca leggenda l' u-

mile taumaturgo fermava per aria il muratore che precipitava dal tetto, per andar a chiedere al Priore il permesso di farlo scendere a terra senza accopparsi.

Ben diverso è il caso del parafulmine, utilissimamente inventato da Beniamino Franklin. Il parafulmine non impedisce le scariche da nuvola a nuvola, e ciò poco importa: ma se il fluido elettrico era disposto a piombare a terra in vicinanza del parafulmine, prima di toccar terra effettivamente egli passerà per la sfera d'attività del parafulmine. Ora l'elettricità ha una forte tendenza ad entrare ed uscire per le punte, come pure a seguire i conduttori metallici. Il terribile fluido adunque, che stava per convertirsi in fulmine, e senza la spranga Frankliniana avrebbe potuto assalire l'edifizio da qualunque parte, incendiarlo, ridurlo in rovina, ucciderne gli abitanti, preferirà invece di correre quietamente e gradatamente alla elevata sommità del parafulmine, formata per lo più da una cùspide dorata o di platino; seguirne la verga o verghe di ferro, le quali discendono lungo i fianchi del protetto edifizio; e disperdersi innocuo nelle viscere del vasto serbatoio terrestre.

LEZIONE XXXVII

Meteore luminose.

Alcune fra le meteore dette più propriamente elettriche, come il baleno ed il fulmine, sono altresì meteore luminose: per converso, altre delle meteore più specificamente chiamate luminose sono ancora elettro-magne-

tiche; come l'aurora boreale. Dirò prima brevemente dell'iride, od arco baleno, chiamato ancora dal popolo l'arco celeste, e che invero è la più graziosa fra le meteore più comunemente visibili nei nostri paesi.

Per la manifestazione dell'iride agli occhi nostri, si ricercano tre condizioni: primieramente che una nube stia risolvendosi in pioggia; in secondo luogo che guardiamo verso questa nube ed il sole stia di fronte a lei, e quindi alle nostre spalle, ma ad un'altezza non maggiore di 42° sull'orizzonte; infine che il tratto di atmosfera interposto fra noi e la pioggia che cade dalla nuvola, sia abbastanza sgombro di vapori, perchè la luce riflessa e rifratta da quella pioggia possa liberamente giungere sino a noi. Questa è la ragione per cui l'iride serve di pronostico, spesso verificato, di un prossimo rasserenamento generale dell'atmosfera.

Ogni piccola porzione di acqua, per la reciproca attrazione capillare delle sue molecole (Lez. XXV), disponesi in forma sferica: quindi la pioggia cade in gocciole di rotondità prossimamente perfetta. La luce del sole entra liberamente e giuoca nelle innumerevoli gocciole di pioggia, che cadono da quella metà dall'esterno contorno di una nuvola che è dalla parte del sole, non essendovi interposizione di altre nuvole, nè di altre gocciole. Grazie alla trasparenza della gocciola, la maggior parte della luce solare che la traversa usciranne senza soffrire alcuna riflessione, e non arriverà agli occhi nostri: ma un'altra porzione della luce entrata nella gocciola, arrivando con troppa obliquità alla superficie donde ella dovrebbe uscire, subisce *la riflessione totale*, in obbedienza alla seconda legge di Cartesio sulla rifrazione.

Questi raggi riflessi da ciascuna gocciola verso di noi sono entrati in lei obliquamente, ed obliquamente pure ne escono: essi debbono adunque aver sofferto due ri-

frazioni, o scavezzamenti. Ora noi sappiamo (Lez. XXIV) che ogni fascio di luce solare o bianca è composto di innumerevoli raggi di diverso colore, e che questi diversi colori hanno un differente grado di rifrangibilità, essendo il rosso il meno rifrangibile di tutti, ed il violetto il più rifrangibile. Il meno deviato dal suo cammino rettilineo, per rifrazione, è dunque il color rosso; l'arancio lo è un poco di più; il giallo alquanto di più ancora; indi sempre più, e per ordine, il verde, il turchino, od azzurro, l'ìndaco, ed infine il violetto. Così questi diversi raggi saran costretti a separararsi alquanto all'istante di penetrare entro la gocciola di pioggia, ed allontaneranosi anche di più gli uni dagli altri nell'uscirne; in quello stesso modo con cui si separano nell'entrata e nell'uscita dal prisma triangolare di vetro, per andar a formare il leggiadro e variopinto spettro.

Se dunque da una data gocciola arriva al mio occhio il raggio rosso, non può venirvi da quella stessa gocciola il raggio arancio, e molto meno alcuno degli altri raggi più rifrangibili. Il raggio arancio emesso da quella gocciola anderà possibilmente a ferir l'occhio di un altro spettatore il quale fosse collocato più in alto di me; io invece vedrò il colore arancio proveniente da un'altra gocciola più bassa di quella da cui mi venne il color rosso; anzi dopo pochi istanti quella stessa gocciola la quale prima mi mandò il color rosso, nel cadere che ella fa mi manderà prima il colore arancio, e poi discesa alquanto più giù mi manderà il giallo; più giù ancora il verde, poi il turchino, poi l'ìndaco, ed infine il violetto; dopo di che, accostandosi ella ancora di più a terra, non mi manda più alcun colore riflesso: ma intanto altre gocciole han preso di mano in mano i posti successivamente occupati da quella prima gocciola, ed io continuo a vedere gli stessi colori, sempre a quella

stessa distanza angolare dalla retta geometrica condotta dal sole, che è dietro a me, al mio occhio, e prolungata davanti a me. Ne nasce il grazioso spettacolo di un arco composto di sette fascie di diversi colori: quegli stessi dello spettro solare formato dal prisma: il rosso al di sopra, ossia nella parte esterna dell' arco; il verde nella fascia di mezzo, ed il violetto nella fascia più bassa, o più interna.

La larghezza di tutta la settemplice fascia è di 1° 45' (un grado e 45 minuti), che è un po' più del triplo del diametro apparente del sole e della luna. In sostanza le varie gocciole che, rifrangendo e riflettendo la luce del sole, formano agli occhi nostri ciascuna di quelle sette fascie colorate, sono situate sulla superficie di altrettanti coni, il cui angolo cuspidale varia da 84°, pel rosso, ad ottanta gradi e mezzo pel violetto: e tutti questi coni hanno per comune vertice il nostro occhio, ed un asse parimenti comune, paralello ai raggi del sole; intendo i raggi condotti dal sole al nostro occhio, alle gocciole o alla nube, che sono tutti sensibilmente paralelli fra loro, attesa la piccolissima distanza della nuvola in paragone della enorme distanza del sole.

Ne segue che l' iride ci presenta esattamente una semicirconferenza, se il sole è all' orizzonte e noi ci troviamo in mare od in una gran pianura orizzontale; e ci presenterebbe un arco maggiore del mezzo circolo, se, stando sempre il sole all' orizzonte o poco sopra di esso, noi fossimo molto in alto sopra un monte, od in pallone: anzi con tal mezzo è possibile, benchè difficilissimo, il veder un circolo intero formato dall' iride. Nella maggior parte dei casi però, cioè essendo il sole più o meno alto sull' orizzonte, e noi a piccola altezza, l' iride forma nn arco minore di 180°, e di un numero sempre minore di gradi quanto è più alto il sole; e l' ar-

cobaleno semplice non può aver luogo affatto se quest'altezza supera i 42°.

Nondimeno, nelle circostanze più favorevoli alla formazione dell'iride, cioè quando cade abbondante la pioggia da un'alta nuvola, ma l'aria fra noi ed essa è molto pura da vapori vescicolari, può osservarsi anche una seconda iride, esterna alla prima, benchè più sbiadita di essa, e coi colori nell'ordine opposto, cioè il rosso al di sotto, o nella fascia interna, ed il violetto al di fuori. Questo secondo arcobaleno risulta da due rifrazioni e due riflessioni della luce entro ciascuna gocciola; mentre l'arcobaleno ordinario e più brillante proviene da due rifrazioni ed una sola riflessione. In circostanze molto più propizie ancora, ma naturalmente rarissime, se ne son veduti sino a tre; provenendo il terzo arcobaleno da due rifrazioni e tre riflessioni.

Il bel fenomeno dell'iride può manifestarsi anche in altre circostanze diverse da quelle della pioggia, purchè vi sia una grande quantità di gocciole, come nella rugiada mattutina sull'erba, e nelle fontane che si rompono in minuti spruzzi. È possibile il veder l'iride anche a lume di luna, benchè difficile, a cagione della troppo debole luce.

Il *parelio* (da *parà*, al fianco del, ed *Hèlios*, sole) è un'altra meteora luminosa derivante da una riflessione della luce solare. I parelii, infatti, non sono altro che false imagini del Sole, prodotte da qualche cosa che fa l'uffizio di uno specchio piano: laonde sembraci di vedere due o più soli al medesimo tempo, tutti della forma e grandezza apparente del vero sole.

Rarissima è questa meteora nei nostri climi, benchè frequente nell'estremo settentrione. Io mi rammento chiaramente di averla veduta una volta nella mia fanciullezza. Parevami di vedere due soli eguali, a non grande di-

stanza uno dall' altro, e ad un' altezza apparente quasi eguale, ma tutti e due, come suol dirsi, malaticci, che spiccavano da un brumoso e bianchiccio cielo invernale. Un altro parelio si vide in Inghilterra il 29 Marzo 1848. Il fenomeno analogo, che nella notte fa comparire più lune, si chiama *paraselène*, essendo *selène* il nome greco della luna. L' *alone* è un cerchio o ghirlanda luminosa da cui sembrano qualche volta circondati il sole, i pianeti, o le stelle; ma più spesso la luna, quando l' atmosfera contiene dei radi e leggeri vapori vesicolari. È per lo più di color bianco, ma qualche volta debolmente distinto coi colori dell' iride. Se ne può ottenere una facile imitazione artificiale interponendo il vapore che sorge da un vaso d' acqua in ebullizione fra il nostro occhio ed una candela accesa. Muschembroek notò che la luna sembra circondata da un alone, quando la si guarda attraverso ad una finestra i di cui vetri sono ricoperti da un fino velo di ghiaccio. Io ho notato, come tanti altri possono averlo notato egualmente, che si scorge un piccolo alone anche attorno ad un lume artificiale, guardato attraverso a dei vetri appannati da vapori condensati, e che qualche volta il lume sembra in mezzo ad una specie di croce. Così si spiega facilmente la meteora in forma di croce, la quale apparve in Francia alcuni anni sono, e cui si pretese di far credere miracolosa. Sono tutti fatti dipendenti non da reali modificazioni del corpo luminoso, ma semplicemente dalle varie rifrazioni e riflessioni cui soffrono i suoi raggi, dietro immutabili leggi ottiche e geometriche, nel traversare l' atmosfera terrestre, od altro mezzo che sia imperfettamente trasparente, interposto fra l' occhio nostro ed il corpo luminoso.

I vapori vescicolari, al pari delle bolle di sapone, non producono che di rado un' iride sensibile, perchè

la pellicola acquea della vescichetta meteorica è tanto sottile in paragone del raggio, che la curvatura della superficie esterna è quasi perfettamente eguale alla curvatura della superficie interna; così la rifrazione prodotta dall' una di queste superficie è quasi perfettamente raddrizzata dall' altra, come nelle lastre piane, e non può aver luogo una separazione abbastanza netta e sensibile dei diversi colori, secondo i loro diversi gradi di refrangibilità. Ma una parte dei raggi entrati obliquamente nella vescichetta incontrano la superficie interna con sufficiente obliquità per soffrirvi la *riflessione totale*, essendo prevenuta la rifrazione dalla seconda legge di Cartesio. Così questi raggi usciranno dalla vescichetta in una direzione differentissima da quella con cui vi entrarono, e rimarranno fasci di luce bianca, non colorata. Se i vapori fossero densi, invece di essere radi, non si vedrebbe l' alone, perchè alcuni dei vapori toglierebbero la luce del sole ai pochi vapori situati favorevolmente per produrre l' alone agli occhi nostri; ed altri vapori ne impedirebbero a noi la vista. Essendo poi prossimamente paralelli fra loro tutti i raggi del sole che arrivano a noi ed ai vapori atmosferici, noi non possiamo ricevere i raggi così riflessi che dentro a certi dati limiti di posizione angolare. Perciò fra tutti i vapori vescicolari sparsi radamente per l' aria quelli soli contribuiscono a formar l' alone a noi visibile, che trovansi poco al di dentro o poco al di fuori della superficie di un cono avente il vertice nel nostro occhio, l' asse paralello ai raggi del sole, ed un determinato angolo cuspidale. I raggi totalmente riflessi che vengono a noi possono fare coll' asse del cono un angolo qualunque, da zero sino a 97°. Ma un numero proporzionatamente piccolissimo di raggi viene a noi da quelle due posizioni estreme, e non possono produrci un' impressione avvertita.

La zona visibile dell'alone deve corrispondere a quell'angolo sotto il quale ci arriva, proporzionatamente, il maggior numero di raggi totalmente riflessi. L'esperienza ci mostra che il diametro apparente degli aloni solari o lunari giunge a circa 90°: ma i piccoli aloni attorno a Venere, a Giove, o a Sirio, qualche volta attorno alla luna stessa, sogliono avere un diametro da tre a cinque gradi, cioè da sei in dieci volte maggiore del diametro apparente della luna.

Nei climi settentrionali gli aloni sono qualche volta accompagnati dai parelii, quasi vasti diademi ingemmati di falsi soli. Ivi gli aloni mostransi ancora spesso nella forma di circoli concentrici aventi il vero sole nel mezzo, e di archi esternamente tangenti ai circoli concentrici. I parelii figurano in quei punti degli aloni concentrici che sono traversati dal diametro orizzontale passante pel vero sole.

Può evidentemente accader qualche altra volta che sia visibile un parelio, mentre il sole vero ci è occultato da una nuvola. In tal caso, se il parelio fosse a ponente del vero sole, tutte le ombre, ed anche quella dello stile in un orologio solare, sembrerebbero esser corse innanzi più del dovere: che se, per lo contrario, il parelio stesse ad oriente del vero sole, le ombre parrebbero aver retroceduto, e quella del gnomone o stile, nell'orologio a sole, indicherebbe un'ora in ritardo. Così rinnoverebbesi l'apparente miracolo del profeta Isaia, il quale si narra aver fatto retrocedere di dieci linee l'ombra dello gnomone, od obelisco, nell'orologio solare del re di Giudea.

È al certo un effetto di riflessione della luce anche quell'altro curiosissimo e romantico fenomeno, chiamato con voce di prossima origine francese, ma di etimologia prettamente italiana, il *miraggio*, e con termine più

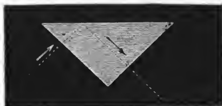
italiano e più bello, ma tutt' altro che scientifico, poichè sa di superstizione, la *Fata Morgana*. Questo fenomeno, al rovescio dei parelii e degli aloni, è più frequente che altrove nei climi caldi, ed in particolare sulle coste della Calabria e della Sicilia, al di sopra o poco lungi dai famosi vortici di Scilla e Cariddi.

Il miraggio viene comunemente attribuito dai fisici alla diversa densità degli strati atmosferici, ed alla *riflessione totale* che avviene allorchè la troppa obliquità de' raggi incidenti esclude ogni rifrazione, in accordo colla seconda legge di Cartesio, la quale citai nella spiegazione dell' iride e dell' alone. La seconda legge di Cartesio esige un rapporto costante fra il seno dell' angolo d' incidenza ed il seno dell' angolo di rifrazione, ossia la costanza dell' indice di rifrazione per due dati mezzi trasparenti (Lez. XXIV, pag. 305). Per esempio l' indice di rifrazione fra il vetro e l' aria è $2:3$; lo che vuol dire che qualunque sia l' angolo sotto cui presentasi un raggio luminoso alla superficie di separazione fra l' aria ed il vetro, il seno dell' angolo cui farà il raggio luminoso colla perpendicolare dalla parte del vetro sarà sempre due terzi del seno dell' angolo intercetto fra la perpendicolare stessa, ed il raggio piegato, dalla parte dell' aria. Ora il seno di 42° è un po' più di due terzi del raggio, essendo eguale a 0.669, preso il raggio per unità. Moltiplicando questo numero per tre mezzi, si ha evidentemente più dell' unità. Allorchè adunque l' angolo d' un raggio di luce colla perpendicolare alla superficie, dalla parte interna di un vetro, è uguale o maggiore di 42°, per verificare la seconda legge Cartesiana bisognerebbe che il seno dell' angolo di rifrazione, o di emergenza nell' aria, fosse maggiore del raggio: ma questo è impossibile, perchè il seno è uguale al raggio quando l' angolo è retto, e minore del raggio per

Digitized by Google

tutti gli altri angoli. Perciò non può esservi, in questo caso, alcuna rifrazione, e tutti i raggi incidenti vengon riflessi, con un angolo di riflessione eguale a quello d' incidenza.

In alcuni istrumenti ottici si trae partito dal principio testè spiegato, per mezzo di un prisma di vetro la di cui sezione trasversale è un triangolo rettangolo isoscele, facendo entrare perpendicolarmente la luce per una delle due faccie che abbracciano l'angolo retto. Cadendo i raggi sul lato maggiore sotto un angolo di 45°, sono tutti riflettuti ad egual angolo, ed escono perpendicolarmente per la terza faccia. Così un prisma trasparente presta l'uffizio di specchio, meglio di una lastra la più perfettamente spalmata di amalgama di stagno, o di argento puro.



È questa una elegante ed utile applicazione della bellissima legge ottica della riflessione totale, la quale emmi parsa degna di esservi fatta conoscere almeno incidentemente, se prima non eravi nota o chiara: ma non veggo come ella possa bastare alla spiegazione del miraggio; perchè nessuno sa dirci la ragione per la quale debba esservi un salto grande e netto, invece della solita sfumatura e gradazione infinitesimale, fra la densità di uno strato atmosferico e lo strato immediatamente contiguo, in guisa che quello di sopra possa far l'opera di uno specchio. Forse il salto di rifrangibilità avviene al confine fra l'atmosfera aerea e l'atmosfera eterea;

Digitized by Google

forse anche ha luogo temporaneamente ed eccezionalmente in seno all'atmosfera ordinaria, per qualche causa elettrica, od altra a noi occulta.

Checchè ne sia della causa, lo strano effetto è questo: che l'imagine capovolta degli oggetti terreni presentasi agli attoniti sguardi, facendo apparire nelle aeree regioni delle castella incantate, delle città pènsili, delle misteriose foreste colle radici degli alberi in alto e le frondi rivolte ingiù; dei laghi di fresche acque, le quali allettano il sitibondo viaggiatore del deserto: ma quanto più egli affretta il passo per raggiugnerle, tanto più ei le vede allontanarsi da lui, ed accorgesi infine di essere stato in preda ad una crudele illusione ottica.

Altro fenomeno luminoso e singolare, ma assai più grandioso di quelli testè descritti, è l'aurora boreale. Rara anzichenò nei climi temperati, essa è frequentissima, e quasi quotidiana, in Groenlandia, in Lapponia, in Norvegia, in Isvezia, in Siberia, insomma nelle regioni più settentrionali, ove essa rompe gradevolmente la monotonia delle lunghe notti iperboree. Il bel nome di aurora boreale fu divisato dal filosofo francese Gassendi. Oggi però i fisici amano meglio chiamarla più scientificamente e più generalmente aurora polare, perchè hannovi pure delle *aurore australi*, cioè il fenomeno si produce anche nell'altro emisfero, prendendo le mosse dal polo magnetico meridionale, come l'aurora boreale propriamente detta prende le mosse dal polo magnetico settentrionale.

Il 1870 fu un anno di insolita frequenza di aurore boreali pel nostro clima. Quello fu al medesimo tempo un anno di massima attività e frequenza di macchie solari, il cui periodo di massimo e minimo è prossimamente di dieci anni e tre mesi. Le due più notabili aurore di quell'anno furono nelle sere del 24 e del 25 Ot-

tobre. La più splendida fu la prima. Avvertito troppo tardi, io non potei vederne che la fine verso le nove pomeridiane. Assai bella però fu ancora quella del giorno susseguente, ed anche più estesa della prima. Io mi trovava allora ventisei chilometri al nord di Bologna, a Cento, luogo molto favorevole per potervi osservare un' aurora boreale od australe, dagli spaldi che girano attorno a quella piccola città. Narrerò le impressioni individuali che ne ebbi, trascrivendo la nota che allora ne feci.

« Il cielo, dalla parte settentrionale, era quasi esclusivamente di un bel colore di rosa, tramutantesi qualche volta in giallo, od in porporino o violetto; e presso all' orizzonte, un quindici gradi ad occidente della stella polare, cioè nella direzione approssimativa del nostro meridiano magnetico, la volta celeste mandava una luce bianco-azzurra, che da alcuni miei compagni di osservazione, meno pratici di me, si credeva il crepuscolo della sera. Ma il grandioso spettacolo complessivo variava continuamente di forma, di estensione, e di intensità. Ora ei faceva pompa di sè a settentrione, ora a levante, ora a ponente, ora a levante insieme, a settentrione, ed a ponente; ma per lo più con ispazii interrotti, e con mirabili e subitanee alternative di affievolimento, e di energico e vastissimo divampare. Sovente disponevasi tutto a striscie rosse o biancastre, quasi paralelle fra loro, e quasi perpendicolari all' orizzonte; ma la direzione prevalente di queste striscie luminose, benchè non sempre esattamente, mirava ad un punto sotto l' orizzonte, un po' a sinistra della stella polare, cioè ad un bell' incirca esse convergevano verso il polo magnetico della terra. Il color rosso oltrepassava a ponente la grande stella Arturo; a levante arrivava quasi alle Pleiadi; in alto ergevasi alquanto al di sopra della polare nel momento

della maggior intensità del fenomeno. Diminuita però la vivacità generale della luce aurorale, le striscie rosse o bianchiccie sonosi elevate di più; ed alle sette e 35 minuti le striscie bianche han raggiunto la lucida del Cigno; un'altra striscia è arrivata precisamente al nostro zenit, e poco dopo lo ha ben anche oltrepassato, stendendosi verso il sud. Alle nove pomeridiane, mentre scrivo, il cielo conserva tuttora una tinta porporina. Eranvi due o tre nuvolette le quali proiettavansi, nere e distintissime, sul rosso del cielo; ciò che prova in modo non dubbio esser la sede del fenomeno al di sopra della regione delle nuvole. Tanto iersera che questa sera si sono vedute varie stelle cadenti, in numero considerevolmente superiore alla media delle altre sere. »

Tali furono le mie personali osservazioni nella sera del 25 Ottobre 1870. Dalle molteplici testimonianze di altri fisici, più abili osservatori di me, o più favorevolmente situati nei paesi ove meglio abbondano queste meteore, risultano confermate e precisate ancora, per le aurore polari in genere, le più esenziali circostanze da me dianzi descritte. Tal fiata una medesima aurora boreale fu vista a Mosca, ed a Cadice, situata 19° 14′ più al sud di Mosca, e 46° 35′ di longitudine più all'ovest.

Augusto De la Rive ritiene che le aurore polari si debbano attribuire a scariche elettriche aventi luogo in vicinanza dei due poli della terra, lanciandosi l'elettricità negativa della terra verso l'elettricità positiva dell'atmosfera. Certa cosa è che alcune ore avanti allo scoppiare o all'apparire di un'aurora polare, anche in lontane regioni, manifestasi negli strumenti elettrometrici degli osservatorii, e negli apparecchi de' telegrafi elettromagnetici, una forte inquietudine, una viva perturbazione; e Delarive è riuscito assai bene ad imitare i principali

Digitized by Google

fenomeni delle aurore polari mediante l' elettricità eccitata dalle nostre macchine elettriche artificiali.

Voglio aggiugnere una riflessione mia, cui credo nuova e non destituita di una certa importanza. La luce delle aurore polari è dotata di una speciale prerogativa, alla quale, per mancanza di altro vecchio termine più acconcio, darò provvisoriamente il nome di *polarità,* ma in un senso notabilmente diverso da quello che s' intende per ordinaria polarità della luce. Per ispiegar meglio il mio concetto, mi aiuterò coll' esempio, non perfettamente simile ma in qualche parte analogo, dell' arcobaleno, e dell' alone. L' arcobaleno veduto da me non è precisameate l' arcobaleno visibile a voi o ad alcun altro al medesimo tempo; ossia, quelle gocciole di pioggia che riflettono e rifrangono verso di me il color rosso, o giallo, o verde, od altro, non sono le identiche gocciole che in quel medesimo istante riflettono e rifrangono quel medesimo colore verso di voi: imperciocchè, come dianzi abbiamo veduto, ciascuna delle fascie dell' iride trovasi sulla superficie di un cono distinto che ha il vertice nell' occhio di ogni osservatore: dunque si hanno tanti coni diversi, tante diverse iridi, quanti sono gli occhi. Così pure l' alone a me visibile, non è precisamente identico coll' alone visibile a voi, perchè i vapori vescicolari che riflettono verso di noi la luce efficace alla formazione del fenomeno debbono trovarsi sulla superficie di un distinto cono avente il vertice nell' occchio di ciaschedun osservatore, mentre il sole è sull' asse dalla parte interna del cono, invece di essere sul prolungamento esterno dell' asse, come nell' iride.

Io reputo che, per modo in qualche parte analogo, l' aurora boreale vista da un osservatore in un dato luogo, e l' aurora boreale vista da un altro osservatore in quella medesima notte, sieno parti *integranti,* ma non esattamente *identiche,* di un solo grande fenomeno.

Ed io fondo la mia opinione su questo fatto, generalmente avverato in tutte le aurore boreali, che la media posizione culminante del fenomeno è dappertutto sul meridiano magnetico locale. Ora il meridiano magnetico differisce da luogo a luogo, al pari del meridiano astronomico. Voi vedete un'aurora boreale a Bossekop in Lapponia; in quella stessa notte un altro la vede a Lisbona in Portogallo; un terzo la vede a Damasco in Siria; e a tutti e tre pare che la mirabil luce culmini *per lo più*, se non *costantemente*, nel loro rispettivo meridiano magnetico. Ma questi tre luoghi stanno ai vertici di un triangolo quasi equilatero, e distano più di quattromila chilometri uno dall'altro. Affinchè un dato punto luminoso fosse visibile al medesimo istante in Lapponia ed in Portogallo, bisognerebbe supporlo alto almeno mille miglia al di sopra della terra; e credo che nessuno siasi mai sognato di ammettere che a tanta altezza spingasi l'atmosfera.

Ma fosse pure l'altezza, di un atomo luminoso, maggiore della distanza della luna o del sole da noi, egli non potrebbe mai in alcun caso comparire al medesimo tempo sul meridiano magnetico di Lisbona, di Bossekop e di Damasco, eccettuato il caso che quell'atomo luminoso trovisi nel punto ove confluiscono tutti i meridiani magnetici, val a dire nel polo magnetico. Ma la luce delle aurore boreali si scorge da diversissimi luoghi culminare nel rispettivo meridiano magnetico molti e molti gradi al di sopra del polo magnetico. Le striscie aurorali sembrano invero raggiare verso il polo magnetico della terra, da qualunque luogo si osservino; ma questa è un'altra prova che quella striscia, la quale ad uno in Siria sembra raggiare dal polo magnetico verso il di lui zenit, non può essere quella medesima che a voi in Lapponia sembra raggiare da quello stesso polo al vostro proprio zenit.

« La splendida aurora polare del 4 Febbraio 1872, osserva il Denza, apparve a tutta l'Europa, dall'estrema Norvegia sino alla punta più meridionale della Spagna, dell'Italia, della Grecia, e della Turchia. Ella si estese pure nell'Affrica e nell'Asia, dove fu brillante come da noi. E dappertutto l'aurora oltrepassò lo zenit, tanto che il professor Donati a Firenze ebbe a dire che in alcuni momenti sembrava quasi di assistere ad un'aurora australe. » Il Denza aggiunge che l'aurora fu osservata anche in America; che dappertutto vi furono perturbazioni intensissime negli aghi magnetici e nei fili telegrafici, ed infine che in quel giorno furono notate delle insolite eruzioni nella cromosfera solare, ed avvertita una leggera scossa di terremoto a Firenze ed a Moncalieri.

Da tutti questi fatti discende come legittima conseguenza esser giusto il comune concetto dei fisici che l'aurora polare è un grandioso fenomeno elettro-magnetico, il quale investe contemporaneamente dei vastissimi tratti dell'atmosfera terrestre, e più fortemente le regioni di essa più alte e più rarefatte. Ne trae ben anche non poca verosimiglianza l'opinione di quelli che ammettono un'atmosfera di speciale e di distinta natura, al di sopra dell'atmosfera respirabile, con una netta separazione fra le due, come fra uno strato d'olio e di acqua. Io ne deduco inoltre, come altra probabile conseguenza, che la luce sprigionata dall'aurora boreale od australe, ha una specie di polarità sua propria, analoga, ma molto diversa e più spiccata, che ciò che si chiama polarità della luce ordinaria.

Un raggio di luce ordinaria si dice *polarizzato* allorchè viene riflettuto da una superficie liscia e pulita sotto un piccolo angolo, o quando traversa un cristallo *bifrangente,* ossia a doppia rifrazione, per esempio lo spato d'Islanda, o carbonato cristallizzato di calce. I

principali effetti della polarizzazione consistono nel dare una sola, o due imagini, o nessuna, rifrangendosi o riflettendosi in certi cristalli o sostanze trasparenti di una data natura secondo che i raggi già polarizzati arrivano, al nuovo corpo rifrangente o riflettente, sotto un certo angolo piuttosto che sotto un altro angolo. Le leggi ottiche della polarità sono difficili a spiegarsi in un trattato popolare, e riescirebbero molto tediose e pochissimo proficue a coloro che non voglion farne uno studio profondo; benchè tutti sieno perfettamente in grado di provar diletto nell'osservare gli splendidi colori sviluppati dalla luce polarizzata che passa in diverse direzioni attraverso una lastra di tormalina, o di altro corpo cristallizzato. E tutti pur sono capaci di apprezzare l'importanza di certe applicazioni pratiche delle leggi della polarità alla Chimica ed all'Industria, come facilissimo e speditissimo mezzo di analisi differenziale; per esempio onde riconoscere, per via di un semplice e comodo istrumento di ottica chiamato il polariscopio, la maggiore o minor quantità di zucchero contenuta nel succo di barbabietole, facendo passare attraverso a questo succo un fascio di luce polarizzata.

Io chiamerò, per analogia, *polarità aurorale* la disposizione della luce elettromagnetica a diffondersi prevalentemente in una direzione paralella all'asse di una pila artificiale da cui emana, e nelle aurore polari paralellamente all'asse della gran pila o magnete terrestre, ovvero sotto dati angoli con quell'asse, piuttosto che in altre direzioni. Invero il professor Ratti di Roma ha osservato più volte che la luce del candeliere elettrico non diffondesi egualmente da tutte le parti, ma lanciasi con maggiore intensità dal polo positivo.

Attribuisco a questa speciale polarità della luce elettromagnetica gli zig-zag, o linee spezzate, dei lampi e

Digitized by Google

dei fulmini, e la costante correlazione di posizione delle aurore polari rispetto al meridiano magnetico. Infatti supponiamo che la causa, qualunque ella siasi, dell'aurora, elettrizzi potentemente tutta quanta l'atmosfera del globo da un polo all'altro, ma che la luce sviluppata dall'elettrizzamento individuale di una molecola qualunque di aria, sia dotata della specie di polarità da me dianzi indicata. Per maggior semplicità di concetto, supponiamo dapprima che questa luce elettrica non possa raggiare che nel piano del meridiano magnetico di quella molecola, e non diffondasi punto negli altri piani. Dovunque voi siate, i vostri occhi saran colpiti da molti di questi raggi di luce elettrica, ma saran tutti raggi che vengono da qualche punto situato nel piano del vostro meridiano magnetico. Dagli altri meridiani magnetici non può giugnervi un sol raggio, altrimenti questo raggio uscirebbe dal piano del suo meridiano, che non è il vostro; ciò che è contro al supposto. L'insieme pertanto del fenomeno assumerà agli occhi vostri l'aspetto di un gran ponte luminoso che passa pel vostro zenit, ed appoggiasi sull'orizzonte nella direzione dei due poli magnetici della terra. Adesso allarghiam pure il supposto; ed invece di essere rigorosamente confinati al piano del locale meridiano magnetico di ogni molecola luminosa, i raggi che ne emanano abbiano soltanto una specie di predilezione, a così dire, per quel piano, espandendosi in molte e varie direzioni, od anche in tutte, ma in maggior quantità nel piano medesimo, o con piccola divergenza da esso. In tal caso vedrete illuminata una gran parte della volta celeste, anche fuori del meridiano magnetico, ma in qualunque luogo vi troviate vi apparirà per la maggior parte del tempo una maggior quantità di luce attorno al vostro meridiano magnetico, cioè attorno all'arco che ascende dal più vicino polo magnetico al

Digitized by Google

vostro zenit, di quello che nelle altre parti del cielo: e questo è il fatto che avverasi nelle aurore polari, osservate in qualsivoglia parte del mondo.

La maggior parte delle aurore boreali di cui si ha notizia manifestansi nelle prime ore della notte. La più ovvia e comoda spiegazione di questa coincidenza è il supporre che ciò avvenga unicamente perchè i fatti aurorali che si producono in altre ore non siano avvertiti a cagione del prepotente chiarore del sole durante il giorno, e del sonno a cui sono in preda la maggior parte degli osservatori dopo la mezzanotte. Tuttavolta io sospetto una reale, e non solo apparente, prevalenza dei fenomeni aurorali nelle prime dopo il tramonto del sole. Ed il mio sospetto muove da due circostanze: una è che i migliori e più competenti osservatori sono già avvisati molte ore prima dalla perturbazione degli strumenti elettrici, e tuttavia, quando presentasi ai loro occhi l'aurora polare effettiva, dopo svanito il crepuscolo della sera, veggono per lo più l'aurora polare in sul crescere, non già sul diminuire; ma svanir poscia effettivamente, od almeno scemare poche ore dopo.

E notate che questa disposizione delle aurore a far pompa de' loro più brillanti effetti dalle ore sette alle dieci od undici della sera, di tempo locale, più spesso che in altre ore, verificasi non solo nelle boreali, ma nelle australi pure. A cagion d'esempio di ventitrè aurore osservate nell'emisfero meridionale nell'anno 1870, quattro non hanno speciale indicazione di ora, tre sole si mostrarono prevalenti dopo la mezzanotte; ma le altre sedici, cioè incirca più di cinque contro una, hanno avuto il loro maximum nella sera. Fra queste evvi pure quella del 25 Ottobre, osservata anche da me e da tanti altri in Europa, e di cui ho dato la descrizione. Quando poi vi sono due sere consecutive

di aurora boreale, se il fenomeno non avesse alcun reale rapporto colle ore del giorno locale, siccome i buoni osservatori sono costantemente all' erta in tutte e due le notti, dovrebbero per lo più veder la prima aurora crescere d' intensità sino all' alba mattutina; e nella sera seguente dovrebbero vedere i fenomeni aurorali generalmente più languidi che nel mattino precedente, e andarsi indebolendo sempre di più: lungi da ciò, suol vedersi un primo maximum di effetti ottici nella prima sera, avanti alla mezzanotte: ed un secondo maximum nell' altra sera, pure avanti la mezzanotte. Se nuove osservazioni, od un nuovo lavoro sopra le osservazioni che già si posseggono, confermeranno, come è probabile che avverrà, la reale prevalenza degli effetti aurorali nelle prime ore della notte, converrà dedurne che il fenomeno aurorale, oltre avere una polarità locale di suo genere, abbia ancora qualche specialità che potrebbe per analogìa chiamarsi *polarità oraria*, come sarebbe per esempio se quella commozione elettrica la quale produce il suo massimo effetto visibile in Europa alle otto della sera, si comunicasse bensì, istantaneamente o no, anche all'America, e vi si mantenesse per molte ore, ma avesse bisogno di attendere qualche tempo dopo il tramontar del sole per l'America, affinchè il connubio dell' elettricità importata ed estranea, coll' elettricità atmosferica locale, variabile da un' ora ad un' altra, avvenga in America in quelle medesime condizioni locali in cui avvenne sei ore prima in Europa, cioè alle otto della sera anche per gli orologi Americani.

In altri tempi le aurore boreali incutevano al popolo un alto spavento. Gli storici antichi ne parlano qualche volta come di una pioggia di sangue; più di sovente come di schiere nemiche pugnanti fra loro in cielo con armi infiammate. Il sordo rumore elettrico il

quale effettivamente è sensibile qualche volta nelle aurore, era da essi confuso col lontano suono delle armi e delle trombe guerriere. I Groenlandesi però, dice Rambosson, i quali suppongono i loro antenati sollazzarsi nei campi Elisi, giocando alla palla, credono che queste grandi scene della natura sieno le danze di quelle medesime anime fortunate.

È giusto ancora l'osservare che Teodoro Saussure, degno figlio dell'inventore dell'igrometro, c'informa che gli abitanti delle isole Orcadi considerano le aurore come foriere di cattivo tempo; ed il Rayet ha notato che le aurore boreali, e le perturbazioni magnetiche di qualche importanza, coincidono col passaggio di qualche burrasca sui lidi della Francia. Malgrado ciò io non solo assento alla generalità dei fisici, i quali credono le aurore un innocuo, altrettanto come magnifico spettacolo meteorologico, ma non sono alieno dal pensare che la comunicazione dell'elettricità della nostra atmosfera coll'elettricità proveniente dal sole e dagli spazii celesti, o con quella della superficie o dell'interna massa del nostro pianeta, comunicazione della quale sono indizio ed effetto le aurore polari, possa essere necessaria alla prosperità ed alla vita delle piante e degli animali.

LEZIONE XXXXVIII

Meteore di origine plutonica

(Parte prima).

Il maggior numero delle meteore e delle variazioni atmosferiche proviene principalmente dall' azione calorifica ed elettrica esercitata dal sole sopra l' atmosfera terrestre, direttamente coi raggi dall' aria assorbiti, e indirettamente dagli effetti loro nell' evaporazione del mare e nella vegetazione. Nondimeno io stimo che una parte delle variazioni atmosferiche, segnatamente le più grandiose e le più terribili, dipendano ancora da cause direttamente telluriche, ed in particolare dall' azione della maggior parte della massa terrestre, la quale rimane tuttora allo stato di incandescenza e di fusione, al di sotto della superficie consolidata. Insomma le grandi meteore sono, a parer mio, uno de' mezzi, forse il principale, con cui la nascosta ma possente vita interna del globo contribuisce alla sua vita esterna. Mi accingo a dimostrarvi, colla brevità a cui sono condannato, la possibilità non solo, ma la probabilità del mio supposto.

La crosta terrestre è miglior conduttrice dell'elettricità che del calorico; onde è facile il concepire come possano aver luogo delle reciproche comunicazioni di elettricità fra l' atmosfera e l' interno della terra, anche senza che sorga alcuna ponderabile emanazione dalla

terra per mescolarsi all' aria. Ma io ho altri motivi per sospettare fortemente che dalle liquefatte ed ardenti viscere della terra sollèvinsi diverse emanazioni vaporose, in una forma il più delle volte inavvertita, oltre le eruzioni a tutti note e visibili dei vulcani, e gli effetti, più terribili ancora e più estesi, dei terremoti; e che da quelle sinora inavvertite esalazioni derivino gli uragani, le trombe di mare e di terra, ed in parte ancora le aurore polari, ed i temporali ordinarii.

Certa cosa è, che se della materia ponderabile, solida, liquida, o vàporosa, proveniente da regioni dello spazio ove domina una forte elettricità negativa, come forse nei deserti del cielo, o nell' interno della terra, mescolasi in quantità considerevole ed improvvisamente all' atmosfera terrestre, ove domina l' elettricità positiva, non può a meno di crearsi nell' aria stessa una grande commozione elettrica. Perciò sono stati osservati molte volte dei forti lampi, e tuoni, ed altri fenomeni elettrici nei terremoti, e sempre poi nelle grandi eruzioni vulcaniche.

La terra fu già un piccolo sole, ed in certa guisa nel suo interno lo è ancora. Quelle stesse tempeste chimiche le quali tuttora avvengono in seno alla terra, e che di tempo in tempo manifestansi alla superficie mediante i terremoti, le trombe ed i vulcani, avvengono sopra una scala più grande, e con una violenza incommensurabilmente maggiore nel Sole. Ne sono manifestazioni differenti, ma visibili agli occhi nostri, le macchie, le fàcule, le protuberanze. Agevole pertanto è il concepire che nelle epoche in cui maggiormente abbondano le macchie del sole, esse sono indicatrici di maggiori tempeste elettriche alla sua superficie. Ma una parte, forse la maggiore, della elettricità positiva della terra, viene dai raggi del sole. Dèvesene inferire non già che

tutte le aurore polari terrestri sieno determinate da cambiamenti alla superficie del Sole, ma che le aurore polari possono esser più forti ed estese, quando uno dei fattori della elettricità e del magnetismo della nostra atmosfera, quale senza dubbio si è l' elettricità ed il magnetismo del Sole, sono in una più viva effervescenza, come elle sono all' epoca del maximum delle macchie solari, e come si verificò nell' anno 1870, secondo i fatti esposti nella precedente lezione. L' intensificazione delle ordinarie aurore, che sono quasi quotidiane nelle zone glaciali, deve estenderle di più, e renderle sensibili anche nelle latitudini medie, e qualche fiata ancora presso i tropici.

Humboldt, il più grande maestro della Fisica del Globo, nella sua insigne opera il Cosmos, annovera 407 vulcani storicamente noti, e fra essi 225 che han dato recenti prove di attività. Considerate l' importante osservazione dello stesso Humboldt, che fra questi 225 abissi, i quali nel mezzo del secolo decimonono, pongono l' interno liquefatto del globo in comunicazione coll' atmosfera, settanta solamente, val dire un po' meno di un terzo, appartengono ai continenti, e 155 alle isole. E dei settanta vulcani continentali, ben 53, ossia i tre quarti, sono situati in America, 15 in Asia, uno o due nella parte di Affrica a noi nota; non avvene che uno solo nell' Europa continentale, il Vesuvio. Notate di più che anche la maggior parte di questi vulcani continentali sono a piccola distanza dal mare. Ora domando io: poichè ve ne sono tanti in riva al mare, perchè non ve ne dovrebbero essere in molto maggior numero in fondo al mare, la cui superficie è tanto più estesa che quella di tutti i continenti?

Mi direte forse che se ci fossero, si vedrebbero, come si videro quando ce n' erano, ma poi si sono

Digitized by Google

spenti; ed è naturale che non durino, perchè l'acqua del mare dee soffocarli. A quest' ultima obbiezione risponderò più avanti; ma alla prima rispondo sùbito che i vulcani sottomarini si vedrebbero soltanto ove il loro cratere sormontasse permanentemente la superficie del mare: in tal caso però non si chiamano più semplicemente vulcani, ma isole vulcaniche. La massima profondità esplorata nell' Oceano Atlantico australe è stata stimata 13623 metri. Si son mossi dei dubbii intorno alla possibilità di accertarsi che l'operazione dello scandaglio a tali profondità non sia illusoria: ma nessuno nega che le massime profondità dell' Oceano, tanto più esteso in superficie che non sono i continenti, debbono esser maggiori che l'altezza delle più elevate montagne; una delle quali, come sapete, l' Everest o Gaurisnaka, innalzasi a quasi nove mila metri sul livello del mare. Mettete in fondo a quegli abissi, od anche solo a bastevole distanza dalle coste per esser coperti da un chilometro d' acqua in altezza, i piccoli benchè irrequieti vulcani di Stromboli, Vulcano e Vulcanello, che ora èrgonsi appena 800 metri sulle coste delle isole di Lipari; metteteci il Vesuvio, che innalzasi 1190 metri sulla spiaggia dell' incantevole baia di Napoli; metteteci pur anche l' Etna, tanto più gigantesco del Vesuvio, ergendosi egli 3250 metri sul lido orientale della Sicilia; benchè fortunatamente le sue eruzioni sieno più rare di quelle del Vesuvio, come in regola generale, ma non esatta, la frequenza delle eruzioni è all' ingrosso in ragione inversa dell' altezza; aggiugnete, al fianco degli altri, l' Hecla, ora alto 1557 metri sulla costa meridionale dell' Islanda; credete voi che vedreste sorgere sino alla superficie del mare, mille metri sopra i loro rispettivi crateri, secondo il supposto, i vapori che ne escono ora ogni giorno, od anche le ceneri e le lave cui gettano nelle eruzioni straordinarie?

Digitized by Google

Per nominarvi incidentemente i più celebri vulcani delle altre parti del mondo, come vi ho nominati i più celebri vulcani di Europa, e per rafforzare il mio argomento, vi inviterò a porre colla vostra imaginazione nei più profondi bàratri del mare anche i tre più alti vulcani dell'Asia, cioè il Fusinoyama, alto 3800 metri nel Giappone; il Klieucevsk, alto 4800 metri nella Siberiaca penisola di Kamsciatka; ed il Demavend, alto 6559 metri nella Persia: aggiugnetevi i cinque più alti dell'Oceania che sono il Tomboro, di tutti il più terribile, benchè non il più alto, ergendosi soltanto 2316 metri nella Sumbava, una delle isolette dell'arcipelago della Sonda; il Semeru Gunong, alto 3729, nella Giava, quarta delle grandi isole della Sonda; il Monte Erebo, nelle terre Antartiche, alto 3780 metri; il Monte Ophyr, alto 3950 nella Sumatra, seconda delle grandi isole della Sonda; il Singalan, alto 4572 metri nell'isola stessa; ed il Movna Roa, alto 4838 metri in una delle isole Sandwich; aggiugnetevi ancora il famoso Picco di Teneriffa, una delle isole Canarie, sulle coste occidentali dell'Affrica, alto 3710 metri, ed il Mongomaleba, alto 4000 metri nell'Affrica continentale. Per ultimo aggiugnetevi i colossali vulcani dell'America: il Monte Iorullo nel Messico, alto 1300 metri; il Yanteles nella Patagonia, 2247; il Popocatepetl nel Messico, 5250; il Picco di Orizaba, pure nel Messico; il Pichincha, il Sangai, il Cotopaxi e l'Antisana, tutti quattro nella Repubblica dell'Equatore, ed alti rispettivamente 5000, 5200, 5753, e 5833 metri; ed ultimi nel mio novero, ma più elevati di tutti i vulcani del globo, l'Arequipa ed il Sahama nel Perù, alti 6190, e 6812. Aggiugniamovi infine mentalmente ancora l'Aconcagua, picco vulcanico del Chili, benchè non sia presentemente in attività, stimato dell'altezza di 6834 metri, che si reputa pure la più grande altezza di tutto il continente Americano, sul livello del mare.

Supponete dunque che tutti questi vulcani, trasportati a mille o più metri sotto il livello del mare, seguitino tuttavia ad eruttare di tempo in tempo dalle ime loro viscere sino all' orlo del loro rispettivo cratere tutte quelle materie solide, liquide, od aeriformi, che ora escono all'aria aperta: v' imaginate voi forse che i sassi, le lave, i lapilli, le ceneri, vinceranno la resistenza di uno strato di acqua profondo mille metri o più, per alzarsi sino alla superficie del mare? Voi ben comprendete che ciò non potrebbe avvenire; imperciocchè la resistenza dell' acqua, e di ogni altro fluido, ai corpi che a traverso di esso muovonsi, è proporzionale al quadrato della velocità del corpo, e alla densità del fluido. Le materie eruttate non alzeransi che poco sul cratere, per ricadere in parte dentro di esso, ed in parte depositeransi attorno ad esso, formando od aumentando delle montagne sottomarine. Ben ne nascerà sempre inevitabilmente che i prodotti aeriformi, aprendosi la via attraverso all' acqua, mescolerànnosi in tutto od in parte ad essa, per quanto sono in essa solubili, o verranno a galla, per versarsi nell' atmosfera. In tutti i casi ne risulterà un aumento di temperatura tanto nel mare che nell' aria, ed anche qualche commozione meccanica nell' una e nell' altra: ma tale commozione sarà piccola il più delle volte, e passerà inosservata; quando però la quantità dei prodotti aeriformi, specialmente aria comune e vapore acqueo, che ascendono dal fondo del mare alla superficie, sarà grandissima, grande e sensibilissima sarà pure la commozione, e porterà il nome, secondo il caso, di tromba, di tempesta, di bufera, o di uragano.

Ho detto che la commozione meccanica delle acque del mare e dell' aria, per effetto di un'eruzione del mare plutonico, benchè reale, passerà il più delle volte inosservata; e debbo dar ragione di tal mio asserto. Accennai

prima alla circostanza che le eruzioni dei vulcani terrestri sogliono essere più terribili, ma tanto più rare quanto più alto è il vulcano: questa regola, com' è ben naturale, è piena di inesattezze e di eccezioni; ma è altrettanto naturale che in complesso ella reggasi sul fatto; non tanto per la maggior altezza del cono, la quale richiede una maggior forza eruttiva per raggiugnerne la vetta, quanto perchè l' altezza stessa del cratere è prova di un maggior volume nel cono stesso. Anzi questo volume, a forma eguale, è proporzionale al cubo dell' altezza; onde il cono dell' Etna, per esempio, essendo alto quasi il triplo del Vesuvio, deve aver un volume quasi ventisette volte più grande: ma questo cono stesso non è che il prodotto delle materie eruttate dal vulcano, e della forza di sollevamento da lui esercitata al di sotto della crosta della terra: dunque la forza totale dell' Etna sarà da venti o trenta volte maggiore che quella del Vesuvio. Nondimeno, come le oscillazioni di un gran pendolo sono più lente di quelle di un piccolo pendolo, così è naturale che le eruzioni dei grandi vulcani sieno più possenti e più prolungate, ma più rare di quelle dei piccoli vulcani.

Con questa regola i vulcani sottomarini, se ve ne sono, dovrebbero avere le più frequenti, benchè ancora le più deboli eruzioni, perchè sono i più bassi di tutti. Ma in compenso essi debbono essere più numerosi dei vulcani terrestri; e ciò in una proporzione assai più forte di quella della rispettiva superficie del mare e della terra, per la stessa ragione per cui a terra i piccoli vulcanetti sono più numerosi dei grandi. Così in Italia abbiamo due soli grandi vulcani, l' Etna ed il Vesuvio, ma ne abbiamo tre piccoli nelle isole di Lipari, un altro piccolo nell' isola d' Ischia, oltre le innumerevoli sorgenti di vapore e di gas, i fuochi di nafta, e le acque termali, che hanno direttamente od indirettamente un'origine vul-

canica. Del rimanente anche i grandi o mediocri vulcani, come il Vesuvio, benchè di rado eruttino delle lave ed altre materie solide, continuamente però emettono del vapore: laonde l'oceano sotterraneo, che forma in qualche guisa un solo ed immenso vulcano, deve, per le innumerevoli fessure della crosta terrestre, emettere continuamente una enorme quantità di vapore, ancorchè questa non sarà facilmente discernibile agli occhi volgari, pel suo parziale assorbimento da parte del mare stesso, e per la grande diffusione e sparpagliamento cui soffre, nello ascendere attraverso alle acque marine.

Ma non posso più oltre differire a combattere efficacemente l'erronea impressione che l'azione ordinaria dell'acqua sul fuoco basti a spegnere un vulcano.

Assai di buon grado concederovvi che il mare basterebbe ampiamente ad estinguere un vulcano isolato; non vi concederò mai che egli possa spegnere la massa sotterranea liquefatta, la quale forma come un solo ed immenso vulcano. Imperciocchè valutando anche la profondità media del mare ordinario, supposto esteso a tutta la terra, a due chilometri, ciò che probabilmente è molto al di sopra del vero, e la grossezza media della crosta terrestre a quarantotto chilometri, ciò che forse è pur superiore al vero, siccome si sa d'altronde, e con molto maggior sicurezza, che il raggio medio della terra è prossimamente 6366 chilometri, ne segue che il volume del mare ordinario non sarebbe che la ventesima quarta parte del volume della crosta, e ad un incirca la millesima parte del volume della materia allo stato di fusione, che al di sotto di questa crosta rimane. La differenza poi delle masse o pesi assoluti è proporzionatamente assai più forte ancora, conciossiachè la densità media della terra, e quindi ancora prossimamente la densità media dell'Oceano sotteraneo, è da cinque in sei volte

maggiore della densità dell'acqua distillata. La densità dell'acqua marina è pochissimo (in media il ventisei per mille) superiore alla densità dell'acqua pura. Insomma se il mare ordinario andasse tutto a contatto del mare plutonico, vi farebbe incirca l'effetto di un secchio d'acqua lanciato in una gran fornace.

Degli effetti della mescolanza del mare superiore coll'oceano sotterraneo discorrerò più ampiamente in alcune delle future lezioni, relative alla formazione del nostro pianeta, ed alle più antiche epoche geologiche. Oggi insisterò sopra la riflessione, da me già fatta, che i vulcani esalano di continuo una grande quantità di vapore acqueo. Essi ne emettono poi in più grande quantità ancora, al tempo delle eruzioni straordinarie: di maniera che il Vesuvio è sempre incappellato di una nube estesa, proveniente dal vapore che sorge dalle pareti interne ed esterne del cono: ma in tempo di eruzione, oltre la pioggia più molesta, delle ceneri e dei lapilli, ed i fiumi di lava ardente, vi spesseggiano anche dei violenti acquazzoni di pioggia ordinaria. Imperciocchè i vapori, a tempo ordinario o straordinario, ascendono sino al loro sbocco dalle pareti del vulcano nel vero stato di vapori, cioè aeriforme e trasparente: ma usciti all'aria aperta e fredda, e raffreddati essi stessi, rendono l'aria più che satura, e sono convertiti in vapori vescicolari, ossia in nube, dapprima: poi, se la copia dei vapori vesicolari incalza, questi sciolgonsi necessariamente in pioggia.

Or donde viene quella gran quantità di vapore? Il cratere del Vesuvio ha una forma ellittica poco schiacciata, il di cui diametro maggiore è poco più lungo di 300 metri. La pioggia ordinaria che cade dentro a questo imbuto non basterebbe forse a fornire la centesima o millesima parte del vapore acqueo che esce giorno e

Digitized by Google

notte dai numerosi fumaiuoli onde è crivellata la parete interna ed esterna del monte. Io stesso, in un giorno comparativamente tranquillo, discesi fino a mezza profondità incirca del cratere. Nè questa profondità è quella gran cosa che altri potrebbe imaginare, poichè è meno di centocinquanta metri, ed alla vista non sembra che un gran burrone ordinario fra monti; perchè, cessata l'eruzione, la lava si consolida nel fondo del cratere visibile, chiudendo, come gran coperchio, la vasta e terribile voràgine che probabilmente vi sarà al di sotto; e se non fosse la sua lava rappigliata che chiudesse lo stretto collo di questa specie d'imbuto; lo chiuderebbe, od almeno nasconderebbe, il cadere e franare della terra che riveste la parete interna del cratere. Ciò che rende impossibile, o certamente difficile e pericoloso l'andar sino al fondo visibile dell'imbuto, e che rende penoso il discendere anche soltanto a mezza profondità, come feci io, si è la gran copia di prodotti aeriformi che infestano l'aria; principalmente il gas acido solfidrico, che fa sentire un forte odore di solfo, ed in maggiore abbondanza ancora il vapore acqueo. Io me ne sentiva mezzo soffocato.

Eseguii la facile esperienza di inserire un bastone di faggio, col quale mi aiutava per non isdrucciolare sino al fondo del cratere, entro un pertugio da cui usciva del vapore. Tanto forte è il calore di questo vapore, prima ch'egli esca all'aperto, che il bastone incominciava ad annerirsi e carbonizzarsi entro al buco, quantunque ivi non potesse abbruciare per mancanza di aria comune; ma appena estratto dal buco, e venuto in contatto coll'ossigene atmosferico, il bastone divampò in chiara fiamma, la quale spensi in fretta per non rimaner privo di quell'appoggio nel risalire. Questo fatto può somministrarvi un'idea dell'alta temperatura, della ten-

sione, e della densità del vapore che esce dai numerosi fumaiuoli, dentro e dattorno al cratere del vulcano, anche in tempo ordinario.

Il Gorini, ne' suoi notabili esperimenti, imita assai bene i principali fenomeni vulcanici, ed in particolare il sollevamento e la formazione del cono. I mezzi di cui egli servesi sono ancora per me un segreto; credo che sia un' operazione chimica sopra della lava vera presa dal Vesuvio; e non sembra entrarvi l' acqua. Se ciò è, le esperienze Goriniane confermerebbero la probabilità che la parte più esenziale dei fenomeni vulcanici dipenda dalla mutua azione e reazione chimica dei varii materiali che bollono nell' immenso calderone terrestre; ma non escludono già che nei vulcani veri il vapore acqueo abbia di fatto una parte grandissima, ancorchè accessoria.

Donde viene adunque, ripeto la domanda, quella gran quantità di acqua vaporizzata? Una porzione verrà dalla pioggia caduta sulle vicine pendici, e penetrata attraverso alle numerose screpolature della corteccia terrestre sino alle profonde ed incandescenti voragini del vulcano. Ma in quella guisa che vi può penetrare e vi penetra certamente la scarsa acqua pluviale dei monti vicini, per qual motivo non può e non deve penetrarvi anche l' acqua tanto più abbondante del vicino mare? Scavate una galleria per istrade ferrate o per miniere, nelle viscere di un monte, a quella profondità che volete: quanto più grande sarà questa profondità, tanto maggior copia di acque sgorgherà da ogni parte nella vostra galleria; e mal per voi se non sapete aprir loro un naturale scolo, o respingerle in alto con poderose macchine idrauliche.

Fate un vuoto anche di mezza atmosfera soltanto colla macchina pneumatica sotto un vaso di legno, il quale contenga del mercurio, e vedrete il liquido metallo filtrare attraverso ai pori del vaso, e cadere a

guisa di graziosa pioggia argentea entro al recipiente vitreo della macchina pneumatica. Sostituite ora mentalmente al piccolo recipiente di questa macchina, una caverna lunga, larga, e profonda molte migliaia di metri, al di sotto del livello del mare, ed anche sotto al fondo di esso, a non grande distanza. L'acqua del mare, incalzata da una pressione, non di una, ma forse di cento o più atmosfere, saprà farsi strada fra le spaccature della terra, ben più larghe che i pori del legno, per giugnere sino all'ardente bàratro; ed ivi il calore del vulcano sarà facilmente più sollecito a vaporizzar l'acqua, di quello che l'acqua a soffocarlo.

Nell'eruzione Vesuviana del 1861 le acque del golfo di Napoli furono appestate dal gas acido carbonico ed altre esalazioni mefitiche, le quali pullulavano dal fondo del mare ed uccidevano i pesci. Questi gas venivano evidentemente dal vulcano al mare: ma è altrettanto evidente che, cessata l'eruzione e la prevalenza di pressione dal basso all'alto, e tornata la prevalenza di pressione dall'alto al basso, per quelle stesse fessure per cui i gas erano venuti su dalle viscere del Vesuvio, le acque poteron trovare la loro strada dal mare al fondo del vulcano.

L'acqua del mare evaporandosi fornisce del vapore acqueo puro, ed un deposito dei varii sali cui essa teneva in soluzione, ma principalmente dell'ordinario sale di cucina, chiamato *cloruro di sodio* secondo la nomenclatura di Guyton de Morveau, e *busdabucrà* secondo la nomenclatura atomistica (Lez. XXVIII, pag. 363). Notate per incidenza che tutti e due i nomi vi dicono egualmente che il sal comune, o sale marino, è composto dei due corpi semplici, cloro e sodio: la nomenclatura Guytoniana non ve ne dice nient'altro: la nomenclatura atomistica vi dice inoltre che ogni molecola di sale è composta di un solo atomo *(b)* di sodio *(usda)*, e di un

solo atomo *(b)* di cloro *(ucra)*; e vi avverte di più che l'uno e l'altro sono sostanze non biogene *(u)*, e monoatomiche *(a)*; che elleno si saturano l' una coll' altra *(ba = ba)*; ma che si potrebbero anche facilmente scomporre, mettendone gli elementi in presenza di qualche altra sostanza monoatomica, per esempio coll' idrogene; infine l' accento sull' ultima sillaba vi avverte che questa combinazione di cloro e di sodio è un corpo solido a temperatura ordinaria.

Ben naturale nondimeno è il supporre che sotto l' altissima temperatura che regna al fondo dei vulcani, specialmente nelle grandi eruzioni, anche il sal marino possa volatilizzarsi, ovvero decomporsi. Infatti è noto che i vulcani in generale, ed in particolare il Vesuvio, esalano con altri prodotti aeriformi, del gas acido cloridrico, o idroclorico. Il prof. Punzo di Napoli, analizzando la polvere piovuta dal Vesuvio nella notte del 28 Aprile, durante la terribile eruzione del 1872, vi ha trovato dei cloruri di sodio, e di solfo, e dell' acido idroclorico, il quale nel linguaggio atomico si chiama *abàbucra*, parola che per mezzo de' suoi stessi elementi letterali indica per sè un composto volatile, acido, e saturo di un atomo di idrogene, con uno di cloro. Qui abbiamo dunque non solo la naturalissima presunzione *a priori*, ma ancora gl' indizii di fatto, che l' acqua del vicino Mediterraneo filtra attraverso alle sue proprie sponde, e penetra nel Vesuvio.

È ragionevole il supporre che al fondo di un mare anche di mediocre profondità, molto più poi in mezzo all' Oceano, ove la pressione equivarrà a qualche centinaio di atmosfere, poichè un' altezza di dieci metri di acqua pura, (più esattamente dieci metri ed un terzo) produce una pressione di un' atmosfera, l' acqua aprirassi non uno ma molti varchi per entro alla solida crosta

del globo. Ed avverrà ciò tanto più facilmente nei molti luoghi ove la crosta ha una grossezza o compattezza minore della media; sino a che quest' acqua giunga alla superficie dell' Oceano plutonico. È inevitabile che nelle infime vene e propagini del mare ordinario, là dove queste vanno, attraverso alla solida crosta, ad innestarsi al sottoposto mare ardente, l' acqua trovisi in uno stato di irregolare, ma incessante od almeno frequente e spaventevole ribollimento. La pressione può essere così enorme da essere superiore all' influenza dell' altissima temperatura, ed impedire per qualche tempo la conversione effettiva dell' acqua in vapore: ma appena l' influenza dell' alta temperatura diviene più forte che l' influenza dell' alta pressione, l' acqua trasformasi in vero vapore elastico. La densità di questo vapore sarà sempre grandissima, malgrado la forza dilatatrice propria dell' altissima temperatura. Anzi saravvi una perenne lotta fra il calore e la pressione, per modo che l' acqua oscillerà perpetuamente fra lo stato liquido, lo sferoidale, e l' aeriforme.

Infatti la temperatura della fusione del granito, 1300°, la quale può supporsi esser la temperatura della superficie dell' oceano Plutonico, è sufficiente per produrre del vapore di una tensione superiore a quella dell' acqua, anche discesa a quella grande profondità. E forse è questo uno dei mezzi onde si vale la natura per produrre un lento ma generale rimescolamento di tutta la gran massa in fusione: imperciocchè le colonne ardenti, poste a contatto coll' acqua liquida, perderanno una parte del loro calorico, quanto basta per vaporizzare quell' acqua, ma non quanto basta per far passare la lava ardente dallo stato liquido al solido: se non che questa lava ancor liquida ed ardente, ma alquanto raffreddata, è divenuta più densa, e calerà a fondo, per richiamare a

galla dell'altra lava più ardente e più leggera. Essa verrà su alla sua volta, per vaporizzare dell'altr' acqua, la quale risalirà alla superficie della terra, a portarvi il prezioso tributo dell'elettricità e del calorico assorbiti nelle viscere della terra. Lungi da noi i vani terrori dell'ignoranza volgare che vede nei vulcani altrettante bocche dell'Inferno: ma lungi da noi ancora la tracotanza delle regnanti mediocrità scientifiche, che negano pertinacemente, o dichiarano un errore della Natura, tutto ciò che l'angusta loro dottrina, e la loro ancor più ristretta capacità sintetica, non arriva a comprendere!

Il vapore sviluppato dal contatto dell'acqua marina colla lava ardente, rade volte tornerà indietro per la precisa via battuta dall'acqua stessa che lo generò. Talora egli squarcierà le volte delle vaste caverne sottomarine, con una forza esplosiva eguale a quella di molti milioni di botti di polvere sulfurea accesa; e sarà un *marimoto*. Se la rottura avviene non sotto al mare, ma sotto alla terra, od in vicinanza di essa, il possente tremito prodotto dalla rottura, propagherassi a grandi distanze, ed avrà il nome di terremoto. Altre volte il vapore risalirà, per vecchi meati, dalla superficie del mare plutonico sino al fondo del mare nettunico, e di là sino alla superficie del mare stesso, dopo essersi sciolto e diffuso nelle acque ordinarie dell'Oceano: perciò anche raffreddato, ed in parte convertito in acqua liquida. Quell'altra parte che rimane allo stato aeriforme arriverà sempre più sparpagliata e rallentata alla superficie, in guisa da non potersi riconoscere nella maggior parte dei casi: se non che, raffreddandosi ulteriormente al contatto dell'aria, una porzione di quel resto di vapore trasformerassi immediatamente in vapore vesicolare, ed i marinai diranno esser quella una nuvola che si alza dal mare, od una nebbia che vi cade: un'altra porzione salirà invisibile alla

regione delle alte nubi, in compagnia del vapore sollevato dal calore del sole, e più tardi cadrà poi allo stato di pioggia sul mare direttamente, o per via dei fiumi: e così il volume delle acque del mare rimarrà prossimamente costante.

Quello che soffrirà una perdita reale, ed irreparabile, è la somma del calor centrale della terra; e soffrirà questa perdita a beneficio della superficie e dell'atmosfera terrestre dapprima, poscia degli spazii celesti, mediante il raggiamento del calore dalla terra al cielo: ma vedremo a suo tempo, in alcuna delle future lezioni, che il cumulo originario del calore di formazione della Terra basterebbe a mantenere la superficie della terra alla temperatura media attuale, anche senza che ricevessero alcun calore dal sole, per l'ingente periodo di più di cinquanta milioni d'anni, contati dall'epoca ignota della sua prima formazione. Molto più è da credersi che non iscarseggierà ai nostri discendenti per varii milioni d'anni ancora quel modico supplemento di cui han bisogno le zone temperate e glaciali, in addizione a quella maggiore e meglio regolata quantità di calorico cui la terra riceve annualmente dal Sole.

Il calorico raggiato dalla terra nel vano degli spazii celesti, e quella tanto maggior quantità che vi profonde il Sole, non è perduto neppur esso: imperciocchè tutte le innumerevoli parti dell'uno ed immenso Universo sono avvinte insieme da una catena eterna di reciproca solidarietà: e questa mutua ed eterna fratellanza di tutte le parti dell'Infinito **Tutto**, farà sì che quando la massa interna della terra, dopo qualche milione d'anni, avrà perduto tanta quantità di calorico da divenir inetta a sostenere la vita degli uomini e degli animali alla sua superficie, essa verrà disciolta, ed i suoi atomi ricupereranno il necessario calore mediante nuove combinazioni con altri elementi dell'Universo.

LEZIONE XXXXIX

Meteore di origine plutonica

(Parte seconda).

Feci riflettere nella precedente lezione che l'enorme pressione, esercitata dall'acqua del mare sul fondo, deve aprire all'acqua stessa molte vie di comunicazione col sottoposto oceano di materie in fusione, mercè la generale porosità propria della solida crosta del globo, e le più larghe soluzioni di continuità e numerose rotture che vi debbono esistere, sia per effetto delle antiche rivoluzioni geologiche, o di recenti terremoti. Feci notare altresì che la tensione, generalmente altissima, dei gas sotterranei deve andar soggetta a continue variazioni, secondo le diverse azioni e reazioni chimiche che succedono in quell'immensa massa incandescente, e per conseguenza dover essere prevalente ora la pressione dall'alto al basso, ora la contropressione dal basso all'alto, in diversi tempi ed in diverse situazioni.

Vi saranno dunque moltissimi luoghi dove l'acqua discenderà, continuamente o con intermittenza, dal mare superiore a noi visibile, cui chiamo ancora Oceano Nettunio, al mare inferiore, a noi invisibile, cui chiamo l'Oceano Plutonico; e moltissimi altri dove quell'acqua risalirà allo stato di vapore estremamente denso. Se la discesa avviene per filtrazione, niuna visibile commozione

può derivarne alla superficie del mare. Se avviene per cunicoli di diametro considerevole, l'effetto alla superficie sarà insensibile ancora, qualora l'acqua sia molto profonda; ma l'effetto potrà essere sensibilissimo in quei pochi luoghi dove l'assorbimento sia proporzionatamente molto grande e piccola la profondità. In questi luoghi esisterà un continuo o periodico movimento vorticoso. Uno di questi vortici o gorghi è il famoso Maëlstrom nell'Oceano glaciale Artico, non lungi dalle coste della Norvegia. Il fondo di questo gorgo è di dure roccie ed a pochissima profondità, un quaranta metri al più: circostanze favorevoli a render sensibile anzi terribile il fenomeno: perchè se il fondo fosse stato molto basso, il gorgo sarebbe stato poco sensibile alla superficie; e se fosse di molle terra, la forza corrosiva del vortice l'avrebbe scavata di troppo.

Quando la corrente è molto rapida, essa prende la ordinaria forma dei vortici, quella di cono colla base in alto ed il vertice ingiù; e qui la profondità del concavo è stata stimata sei o sette metri. I naviganti ne ascoltano con terrore, e a molte leghe di distanza, il muggito simile a quello di fiera e lontana tempesta. Le balene che avventuransi troppo da vicino al gorgo, sèntonsene attratte con irresistibile forza, e mandano urli spaventosi. In tempi tranquilli però le navi possono passarvi sopra impunemente. Nell'andato secolo parevasi moderata la sua antica violenza, ma in questi ultimi anni è ridivenuta molto pericolosa. Il Maëlstrom presenta una singolare relazione colle maree: per sei ore la sua corrente va dal settentrione a mezzogiorno, e per altre sei ore nella direzione opposta: ma la sua attività è in ragione inversa di quella del flusso e riflusso del mare: imperciocchè è più tranquillo all'epoca delle sizigie, ossia del novilunio e del plenilunio, quando avvengono le maggiori

maree; ed è più agitato nelle quadrature della luna, che è l' epoca delle più basse maree.

Due altri gorghi meno grandi e terribili del Maëlstrom, ma di più antica e classica celebrità, sono quelli di Scilla e di Cariddi nello stretto di Messina. Cariddi è un gorgo dalla parte della Sicilia: Scilla è uno scoglio sulla costa della penisola, in faccia a Cariddi; ma nelle grotte al piede della rupe sonovi altri formidabili gorghi, simili a quello di Cariddi. Molti secoli sono era terribile, più che ora non è, il passaggio delle piccole navi fra Scilla e Cariddi: ed è ben noto il proverbio relativo al pericolo di cader nell' una volendo evitar l' altra. È notabile il periodo di circa sei ore, il medesimo del flusso e riflusso del mare, che si osserva nelle correnti e controcorrenti di Cariddi: suppongo che saravvi qualche cosa di simile in quelle di Scilla, come abbiam veduto che vi è in quelle più formidabili, del Maelstrom.

Spiegherò poscia la corrispondenza apparentemente contraddittoria dei gorghi colle maree. Infrattanto voglio rammentarvi il terribile terremoto che devastò la Sicilia e la Calabria nell' anno 1783, principalmente nel giorno cinque di Febbraio. In quel luttuoso giorno, fra tante altre rovine, vi fu pur quella della piccola città di Scilla, fabbricata alle falde del celebre promontorio del suo nome; e furono inghiottiti nelle onde del mare, uscito dal suo letto, due mila e settecento abitanti, i quali eransi rifuggiti sul lido. Il cinque di Febbraio di quell' anno era epoca di massima marea ordinaria, essendo un giorno dopo il novilunio. Nè crediate alla leggera che siano del tutto casuali queste coincidenze. Quella stessa sottigliezza o fragilità comparativa della crosta terrestre, che rende frequenti e terribili i terremoti nell' Italia meridionale, ha pur resi possibili i vortici di Scilla e di Cariddi, ed i non remoti vulcani delle isole Eolie, dell' Etna,

Digitized by Google

e del Vesuvio. Ma che cosa ci ha che fare la luna? Ripeto la promessa di spiegarvelo in seguito, purchè abbiate intanto la pazienza di lasciarmi prima fare altre considerazioni, importanti per sè medesime, e conducenti a quella spiegazione.

Le navi che passano al di sopra di un gran gorgo, nei momenti della sua maggiore violenza, possono essere fatalmente inghiottite sino al fondo: ma questo fondo, formato di solide ma rotte rupi, o da grandi ed accatastati fragmenti di rupi, siavi pur anche sovrapposto uno strato di ghiaia o di sabbia, sarà ben poroso abbastanza per lasciar filtrare ed anche precipitar l'acqua nell'ardente voragine sottoposta alle rupi, ma non già al punto di lasciar passare attraverso a quei pori, o quelle fessure, delle intere navi. I naufraghi avanzi di queste, dopo di aver roteato per qualche tempo nel cono di discesa, riusciranno facilmente a guadagnare il contorno, dove la forza galleggiante del legno vincerà la potenza assorbente del gorgo, ed essi avanzi ricompariranno alla superficie, a maggiore o minor distanza dal vortice, come con poetica evidenza Virgilio descrive:

« *Dextrum Scylla latus, loevum implacata Charybdis*
Obtinet, atque imo barathri ter gurgite vastos
Sorbet in abrubtum fluctus, rursusque sub auras
Erigit alternos. »

L'incontro di due correnti opposte produce sempre un vortice o movimento rotatorio irregolare, nei liquidi e nei fluidi: ma la sottrazione del liquido per un'apertura situata nel fondo del vaso produce un gorgo o movimento rotatorio più regolarmente circolare, il quale riesce molto sensibile alla superficie, ove questa alzisi poco sul fondo, ma poco sensibile quando la profondità del foro è molto

considerevole. Ognuno per altro sa che il molto ed il poco son parole di significato relativo; ed è agevole il comprendere che se i cambiamenti chimici, i quali senza dubbio han luogo continuamente nell' immenso calderone dell' Oceano plutonico, producono in una parte di esso, come sicuramente dee avvenir di frequente, una sensibile diminuzione di temperatura, e quindi ancora di densità e di pressione, questa diminuzione di pressione nell' Oceano inferiore farà sì che la pressione dell' oceano superiore rimanga temporaneamente e localmente vincitrice: dunque una porzione di acqua, pei tubi e meati esistenti nella crosta che forma il fondo del mare Nettunico, ed il coperchio del mare plutonico, discenderà in quest' ultimo, e vi sarà aspirazione od assorbimento.

Per fare un paragone molto chiaro e facile, di un fenomeno grandioso con uno piccolo e volgarissimo, dirò che l' effetto visibile di questa aspirazione nel fondo del mare, sarà quello che ognuno può osservare in un imbuto od in una pevera, quando il vino discende nel sottoposto vaso di vetro o di legno: cioè un vortice circolare o conico. Ma se vi è diminuzione di pressione alla superficie del mare plutonico, e questa diminuzione estendesi in esso a considerevole profondità, accadrà anche laggiù un movimento vorticoso, e con diametro di gran lunga maggiore che quello del visibile gorgo del Maëlstrom nel mare superiore, limitato dalla ristrettezza locale della sua speciale comunicazione colle voragini inferiori. L' invisibile gorgo nel mare sotterraneo, avrà facilmente alla superficie un perimetro circolare, non solo per le ragioni speciali della conicità dei vortici anche piccoli, ma per delle ragioni geometriche e meccaniche più generali, in armonia colla forma sferica del globo. È facile perciò il comprendere che un vortice dell' Oceano plutonico possa aver un diametro anche di dugento o trecento miglia

Digitized by Google

maritime, (da 60 al grado) come il diametro dei *cicloni* od uragani circolari.

È facile altresì il comprendere che un uragano prodotto da una simile causa dovrebbe essere preceduto da un forte abbassamento di barometro, ed accompagnato da grandi disequilibrii elettrici, da spaventevoli tuoni o fulmini: imperciocchè l'acqua del mare, precipitandosi nelle voragini sotterranee, caricherebbesi rapidamente di elettricità negativa, e per la sua conducibilità la comunicherebbe all' aria.

Ma le possenti vicende chimiche del mare plutonico alzeranno anche la tensione dei gas al di sopra della media, altrettante volte quante hanno abbassata la tensione al di sotto della media; e allora la contropressione dal basso all' alto vincerà il peso o contropressione dell' acqua dall' alto al basso. Così ad un tempo sarà convertita in vapore elastico l' acqua che era stata assorbita quando la contropressione inferiore era vinta dalla pressione superiore; e questo vapore avrà tensione sufficiente per aprirsi violentemente il varco attraverso ai canali di comunicazione, e salire sino al mare ordinario, o sino all' atmosfera.

Imperciocchè se noi ammettiamo, per facilità di calcolo, e come da molti si suppone, che la grossezza della solida crosta terrestre sia incirca di quarantaquattro chilometri, la pressione esercitata sulla superficie del mare plutonico da una colonna di acqua del mare nettunio che per un tubo, rettilineo o ritorto, o per le irregolari fessure della crosta (ciò non fa differenza per questo computo) penetrasse sino laggiù, sarebbe di circa quattro mila atmosfere; dunque la tensione media dei vapori e dei gas, enormemente riscaldati, ma ancora enormemente compressi, sotto alle volte delle caverne sotterranee sarebbe pure di quattromila atmosfere.

Questo computo suppone che la pressione di un'atmosfera sia sempre rappresentata da un'altezza di dieci metri d'acqua. Se si tratta di acqua distillata, alla massima densità ch'ella aver possa a livello del mare, cioè a 4°, la pressione di un'atmosfera è rappresentata più rigorosamente da un'altezza di 10.^{m} 333 di acqua. Ma l'acqua di mare pesa il 26 per mille di più, ed inoltre tutta l'acqua è compressibile. Secondo le esperienze di Oersted la compressibilità dell'acqua è tale che ella restringesi di una ventimillesima parte del suo volume per ogni addizionale atmosfera di pressione: laonde sotto una pressione di quattromila atmosfere, se l'analogia valesse sino a limiti così lontani, la densità dell'acqua sarebbe cresciuta di un quinto incirca: ma d'altra parte la temperatura laggiù si suppone essere di 1300°, e vi sarebbe una dilatazione dovuta all'aumento di un ventitreesimo per ogni cento gradi di aumentata temperatura.

Queste due opposte correzioni darebbero all'acqua rimasta liquida, alla superficie del mare plutonico, una densità eguale a quattro quinti incirca della densità ordinaria dell'acqua, ed in tutta la lunghezza del tubo una densità media di 0. 9. Quindi per lo scopo speciale del nostro calcolo, noi possiam bene ammettere ipoteticamente, senza ulteriori scrupoli, una pressione e tensione media di quattromila atmosfere alla superficie media dell'Oceano plutonico. Dico alla *superficie media*, perchè avrò a mostrare in altra lezione che la superficie di confine fra la crosta solida e l'oceano in fusione, non può essere rigorosamente sferica, avendo bisogno essa crosta, per galleggiare sul mare plutonico, di addentrarsi in esso con molte e profonde indentature, mentre l'oceano plutonico devesi insinuare entro la corteccia terrestre per via di molte ed altissime caverne, affinchè il dislivello del mare plutonico possa conferire alle parti più

basse della sua superficie una contropressione da opporre al peso della crosta, eguale a questo enorme peso stesso, ed atta perciò a sostenerlo come l'acqua sostiene il ghiaccio. Se sapete bene osservare sperimentalmente, o ben ragionare teoricamente, troverete che trivellando un foro cilindrico in mezzo alla lastra di ghiaccio, ed anche come sta naturalmente l'acqua all'orlo dello stagno gelato, quest'acqua non è già al livello della superficie inferiore del ghiaccio, ma quasi a livello della superficie superiore; e più prossimamente ella sale sino a nove decimi della grossezza della lastra di ghiaccio, essendo la gravità specifica del ghiaccio nove decimi incirca di quella dell'acqua.

E siccome la densità media del guscio è incirca la metà della densità media dell'oceano plutonico, ma probabilmente la densità della materia fusa, alla sua superficie, sarà ben minore della densità media, e poco al di sopra di quella del granito solido, così è probabile, che, data una grossezza media generale di 44 chilometri per la buccia terrestre, il livello delle più alte propagini del mare plutonico sia appena uno o due chilometri al di sotto del fondo del mare ordinario.

Anticipo queste considerazioni perchè anche oggi vediate, per incidenza, una ragione di più di ammettere che esistono necessariamente delle ineguaglianze grandissime nella grossezza della crosta del globo; e che queste ineguaglianze favoriscono le speciali ubicazioni degli uragani, delle trombe, dei vortici, dei vulcani e dei terremoti.

Le più profonde indentature della crosta nel mare plutonico saranno in quei luoghi ove la roccia è più refrattaria, e resiste ad una più alta temperatura prima di fondersi: le più elevate propagini del mare plutonico saranno invece là dove la corteccia è formata di materie

di una più facile fusione; per esempio lo zolfo, che tanto abbonda nei terreni vulcanici, e che fondesi a 110°. Laonde colla regola che la temperatura cresca di un grado incirca per ogni 33 in 34 metri di profondità, lo zolfo si troverebbe naturalmente allo stato liquido ad una profondità di tre o quattro chilometri: mentre il granito, il quale non entra allo stato di fusione che a 1300°, avrebbe bisogno, secondo quella regola, di una profondità di quarantatrè in quarantaquattro chilometri, per trovarsi allo stato liquido. E siccome la Geologia dà per cosa probabile che il guscio solido del nostro pianeta sia formato specialmente di granito, si attribuisce a questo guscio, con qualche probabilità, non dico davvero con molta sicurezza, la grossezza media ed approssimativa, da me accennata testè, e più altre volte, di circa 44 chilometri.

Qualunque siasi di fatto la pressione alla superficie del mare Plutonico, se la formola Dulong, la quale suppone la tensione proporzionale incirca alla quinta potenza della temperatura, anche senza essere esatta, accostasi almeno di lontano alla verità, è chiaro che la variazione di pochi gradi nella temperatura del mare plutonico dee generare una variazione di parecchie atmosfere nella tensione del vapore. In quei luoghi perciò ove la temperatura della superficie del mare sotterraneo trovasi al grado medio, vi sarà equilibrio: ma se la temperatura discende alquanto sotto la media, la pressione del mare, come già dissi, è preponderante, e succede un assorbimento; per lo contrario se la temperatura sale alquanto al disopra della media, la pressione dell'oceano inferiore diviene vincitrice alla sua volta, e respinge insù una colonna d'acqua liquida caldissima, o di vapore ad una grande densità e tensione fortissima. Quella parte di vapore acqueo proveniente dalla superficie del mare plutonico, che arriva sino all'atmosfera, vi reca un forte

e prezioso tributo di umidità, di calore, e di elettricità terrestre o negativa.

Noi sappiam dalla Chimica che l' alta temperatura e la fluidità favoriscono eminentemente la composizione e scomposizione dei corpi. Il mare Plutonico sarà dunque un continuo teatro di innumerevoli e gigantesche operazioni chimiche. Vedemmo che il rimescolamento prodotto dal calore del sole nei due oceani a noi visibili, dell'acqua e dell' aria, combinato col moto diurno della massa terrestre, produce le correnti atmosferiche e marine. Così deve esistere un lento ma continuo e generale rimescolamento delle colonne dell'oceano plutonico, tanto più grande degli altri due, dalla superficie al centro, e dal centro alla superficie, dall' equatore ai poli, e dai poli all' equatore, in grazia delle reciproche azioni e reazioni chimiche fralle tante sostanze eterogenee della massa liquefatta, ed in grazia pure del raffreddarsi lo strato superficiale al contatto dell' acqua discesa dal mare nettunio. Questo rimescolamento produrrà un moto generale analogo a quello dei venti alisei, e delle controcorrenti dell' atmosfera. Imperciocchè le colonne che scendono dalla superficie al centro, o dall' equatore ai poli, perderanno successivamente in velocità assoluta, ma aumenteranno di velocità angolare di rotazione; ed il contrario avverrà alle colonne che riascendono dal centro alla superficie, o dai poli all' equatore.

Non è facile lo spiegare in un modo preciso e specificato come avvenga che queste contrarie correnti in un liquido, per quanto lente esse possano essere, dovendo partorire una perdita di forza viva non debbano cagionare un rallentamento sensibile nella velocità rotatoria del moto diurno della terra. Non è difficile però il trovarne una ragione generica, la quale sembrami possa esser questa: che secondo la nuova teoria termo-dina-

mica, ogni incontro di corpi inelastici, se produce una momentanea perdita di forza viva, genera al medesimo tempo lo sviluppo di una quantità di calorico la quale è il perfetto equivalente della forza viva, o quantità di moto perduta. Ora il calorico così prodotto, andrebbe perduto per un corpo esposto a raggiare l' acquistato calorico verso altri corpi, ma non può esser perduto che in proporzioni affatto insensibili per la gran massa dell'oceano plutonico, protetta d'ogni intorno da un inviluppo che è cattivo conduttore del calorico, e grosso più di quaranta chilometri! Il calorico così aumentato e serbato, può poscia, o forse anche immediatamente, riconvertirsi in forza viva, onde mantenere sensibilmente inalterata per molti secoli la velocità del moto diurno.

Le correnti e controcorrenti sotterranee, delle quali ho testè discorso, promuoveranno vieppiù le azioni e reazioni chimiche, a cagione del maggiore mescolamento: laonde le variazioni di temperatura, di densità, e quindi ancora di tensione, avverranno con maggior frequenza ed intensità presso al piano dell' equatore, ove è massima la velocità di rotazione, di quello che in vicinanza dei poli. Perciò la grossezza media della crosta terrestre sarà massima presso ai poli, minima sotto all' equatore. La maggiore attività chimica e meccanica delle colonne di materia fusa ed ardente, e la minor grossezza della veste od inviluppo solido della terra, in vicinanza dell'equatore, cospirano a render più frequenti e più terribili i vulcani, gli uragani, i turbini, le trombe, i terremoti, ed i temporali, nella zona torrida, di quello che altrove.

Ma della maggior frequenza e fierezza dei temporali nella torrida, in paragone delle altre quattro zone terrestri, avvi ancora un' altra ragione. I temporali nascono dalla mutua attrazione delle nuvole diversamente

Digitized by Google

elettrizzate, e dai possenti effetti della neutralizzazione delle due elettricità. Quanto più grande sarà la diversità e la tensione delle due elettricità separate, tanto più tremendo sarà il loro cozzo nell'atto dell'unirsi o neutralizzarsi. Ora una delle due elettricità, cioè la positiva, cui l'aria riceve dai raggi del sole, è evidentemente assai maggiore nella zona torrida che nelle due temperate, o nelle due glaciali; e così pure essa è più forte ed abbondante in estate che nelle altre stagioni: ecco, a parer mio, la principal ragione per cui i temporali fan l'estremo della lor possa nella zona intertropicale quanto al luogo, ed in estate quanto al tempo.

LEZIONE L

Meteore plutoniche — *(Parte terza)*

Le trombe di mare sono state considerate sinora come meteore acquose, e le trombe di terra come meteore aeree: ma io pongo le une e le altre nel novero delle meteore plutoniche. La nuova teoria delle trombe marine e terrestri è quale sto per esporre.

Per le spaccature ed interruzioni già esistenti nella corteccia della terra, e per quelle nuove soluzioni di continuità che di tempo in tempo vi son prodotte dalla trapossente forza espansiva dei gas sotterranei, una parte dell'acqua del mare ordinario, cui seguiterò a chiamare per distinzione il mare Nettunico, precipitasi sopra l'ardente e sottoposto oceano Plutonico. Versate sopra un

ferro rovente poche gocciole di acqua, e piacevolmente le vedrete rotolare nello stato a cui Boutigny ha dato il nome di *stato sferoidale:* ma non siate così imprudenti da versare in una gran caldaia di metallo liquefatto una secchia di acqua: produrreste una tremenda esplosione. L'acqua di mare, evaporandosi, deposita i sali cui tiene in soluzione, e risolvesi in vapore, il quale raffreddato convertesi in acqua dolce. Il vapore prodotto dal momentaneo contatto del mare superiore col mare inferiore, risalirà al mare superiore, in compagnia dei sali decomposti o volatilizzati per l'alta temperatura; questi passando attraverso al mare superiore scioglieranvisi di nuovo, e così rimarrà costante la salsedine del mare. Il vapore acqueo che risale attraverso al mare ordinario, se è in quantità relativamente piccola, condenserassi per restituire immediatamente al mare la perduta acqua liquida; se è in quantità troppo grande, una parte di esso emergerà dalla superficie del mare nello stato aeriforme, per ricadervi solamente più tardi sotto forma di pioggia.

Unita al vapore ascende pure dalla superficie del mare plutonico una grande quantità di aria caldissima, per la stessa ragione per cui una gran quantità di aria sviluppasi nel condensatore delle macchine a vapore di Watt. Imperciocchè l'acqua assorbe a tutte le pressioni il gas azoto in ragione del 25 per mille del suo volume, ed in una proporzione quasi doppia il gas ossigene. Questa mescolanza aerea, che era estremamente compressa nelle infime regioni, posta ch'ella sia in libertà, e risalendo rapidamente sino al fondo del mare od anche al disopra della superficie di esso, deve espandersi straordinariamente. Il mare compenserassi più tardi della momentanea perdita, se ve n'ha, riassorbendo lentamente altrettanto gas ossigene ed azoto, per saturarsene secondo il rispettivo grado di solubilità di questi gas, negli strati di diversa profondità e diversa pressione.

Se la mescolanza di gas e di vapore che arriva ad emergere nell' atmosfera è in piccola e mediocre quantità, o molto diffusa, passerà forse inavvertita: ma se ella è di una sufficiente quantità e densità, e ristretta in piccola colonna ascendente, produrrà una *tromba marina o terrestre.*

Nella tromba marina, dapprima una parte del denso e caldo vapore emerso dall' acqua, raffreddandosi nell' atmosfera, vi forma una gran nube. Quella nube è temporalesca, e ne escono lampi, tuoni, e grandine; perchè essa porta con sè lo stato elettrico prevalente nell' interno della terra, altamente negativo. Qual meraviglia che ne nasca un violento disequilibrio elettrico in mezzo all' atmosfera, ove domina l' elettricità positiva? Poco dopo, crescendo la tensione e la quantità del vapore che continua a salire dal fondo del mare, quel vapore assume lo stato e forma di una grande colonna di acqua dolce (*) e calda, la quale sorge un centinaio di piedi e più sulla superficie del mare.

Questa stessa colonna di acqua calda riconvertesi parzialmente in vapore, e fornisce nuovo alimento alla nube che la precedette. I meteorologisti, trattando di questo fenomeno colle solite vedute superficiali, dicono che la nube temporalesca forma una specie di vuoto, il quale assorbe una colonna d' acqua dal mare: e non riflettono che il vuoto sarebbe molto più presto e molto

(*) Si suol chiamare acqua *dolce* l' ordinaria acqua potabile, per distinguerla dall'acqua di mare, la quale non si può bere, e che è di sapore non solo fortemente salso per cagione del sale da cucina che vi é sciolto in gran copia, ma ancora amara, per colpa degli altri sali che vi sono sciolti in minor quantità.

più facilmente colmato dall' aria che dall' acqua, e che in tutti i casi il vacuo anche il più perfetto non può alzare una colonna d'acqua al di sopra di 10m 333. Essi non riflettono infine che la colonna in quistione è di acqua calda e dolce, e non di acqua salsa e fredda come quella del mare.

In quanto alla vantata efficacia delle scariche di artiglieria contro una tromba di mare, io la credo un pregiudizio da marinai. Forse la detonazione delle scariche avrà realmente questo di buono ch' essa distrae lo spirito dei marinai, e così diminuisce il loro spavento, nel mentre che la tromba, per tutt' altra ragione, rapidamente allontanasi da loro, o rompesi da sè.

La tromba di terra, benchè differentissima da quella di mare ne' suoi effetti, e più ancora nella sua apparenza, le è nondimeno presso a poco identica nelle sue cause: se non che l' aria propriamente detta, od almeno i suoi due gas componenti, benchè in diversa proporzione, alzandosi dalle sotterranee caverne, hanno qui una parte forse più importante che quella del vapore. La tromba di terra segna sul suolo una striscia lunga molte miglia, ma larga pochi metri, forse proveniente dalla riapertura di qualche antica fessura, mal chiusa, nella crosta terrestre. Il progresso orizzontale di questa linea, e la colonna di aria ordinaria cui essa tirasi dietro, danno alla tromba terrestre una parte dei caratteri, e più l' apparenza, di un violentissimo vento orizzontale: ma la parte più esenziale del fenomeno, a parer mio, è una forza verticale ed elevatrice, proveniente dalle caverne telluriche. Anche Plinio, mille e ottocento anni or sono, notò ehe la tromba è un terribile soffio di aria infuocata che ascende dalla terra.

Vero è che anche un soffio presso a poco orizzontale può sollevare delle pagliuzze o dei pezzetti di carta,

Digitized by Google

mediante la decomposizione delle forze: ma la componente orizzontale riman sempre molto maggiore della componente verticale. Se la forza della tromba fosse principalmente orizzontale, sarebbe maggiore il numero dei tetti delle case schiacciati allo ingiù, per essere investiti dalla corrente orizzontale nella falda inclinata verso la parte onde viene il vento, di quello che dei tetti sollevati in aria. Ci vuole un' assai maggior velocità orizzontale di vento per alzare di pochi metri un semplice tegolo od un mattone, di quello che per atterrare una torre od un palazzo.

Fralle innumerevoli circostanze che confermano la mia teoria delle trombe, citerò l' asciugamento dei pozzi. Un forte ed asciutto vento orizzontale che spirasse di continuo non riuscirebbe in un mese ad evaporare un miserabile maceratoio da canepa profondo due metri, e volete che la tromba, se non fosse che un forte vento orizzontale, od anche un semplice vortice in aria, riesca ad asciugar un pozzo in un minuto? Costruite pure una gigantesca tromba aspirante con uno stantuffo cilindrico, o ad elice, di un diametro quanto si voglia più grande di quello del pozzo, ma limitatevi a far giocare questo stantuffo per aria, invece di rimaner sempre a contatto coll' acqua; e vedrete se l' acqua si alzerà! Oh, se una smisurata forza plutonica spingesse direttamente quest' acqua, dal fondo del pozzo insù, o se, per più probabile caso, la commozione plutonica ha fatto uno squarcio nella terra in vicinanza del pozzo e più basso del fondo di esso, onde l' acqua, per semplice impulso di gravità, vi si possa precipitare; allora si comprende come il pozzo possa vuotarsi in pochi minuti.

Bertholon racconta che una tromba di terra penetrò in una casa a porte e finestre chiuse, e ne sollevò i pavimenti: racconta pure che in un' altra tromba molte

persone credettero trovarsi in una rapida corrente di fuoco, la quale sembrava salire dai piedi alla testa. È avvenuto più volte che delle persone sollevate in aria dalla tromba a considerevole altezza, ricaddero senza farsi gran male; credo io perchè la forza stessa elevatrice che li allontanò da terra, li sostenne in parte anche nella caduta.

A mostrar poi la stretta relazione di cause in parte comuni, fra gli uragani, le trombe, ed i temporali ordinarii, farò un estratto del bullettino dell' osservatorio meteorologico di Modena, relativamente al giorno 20 Settembre 1867. « A $1^h\,30^m$ sera del giorno 20... scorgevasi in distanza verso Ovest un forte nembo, consistente in un grande ammasso di nubi nere e molto basse, rischiarate da frequenti e luminosi baleni, dalle quali divergevano verso il suolo varie striscie larghe e nerissime, separate da fili giallastri... Poco dopo, il vento cambiò direzione, e divenne precisamente Ovest, e allora il nembo venne a scaricarsi sulla città, rovesciando in trenta minuti 25 millimetri e mezzo di pioggia, in mezzo a grande oscurità, a un vento impetuoso di O e NO (ovest e nord ovest), a forti tuoni e spessi baleni, e per pochi minuti a sottile gragnuola che cadeva con molta furia sul suolo. L'uragano ebbe breve durata, ma posteriormente vi furono piccole burrasche sino a sette ore di sera. Il convoglio da Modena a Bologna, come si lesse nei fogli, corse gravi pericoli, in conseguenza di carri che per molti chilometri furono spinti dalla bufera nei binarii, mentre infuriava terribile l'uragano, con immensa oscurità e pioggia diluviana. Però il più terribile effetto di questo uragano fu uno scoscendimento di terra della estensione di circa due chilometri e mezzo, in direzione ESE, verso l' alveo profondo del torrente detto *Acqua fredda* nel territorio di Guiglia (Provincia di Modena).

Digitized by Google

In conseguenza di questo franamento, e dei crepacci avvenuti in larga estensione di terreno, molte case e poderi furono rovinati, e varie strade tagliate e rese impraticabili. Nella notte dal 20 al 21 molti tuoni e forte pioggia. Il giorno 22... tuoni, vento forte e pioggia. Il 24, verso 10^h 30^m sera, baleni, tuoni, vento forte e pioggia che continuò per tutta la notta e per tutto l'indomani. Questo uragano, che fu in Modena molto leggero, riuscì rovinosissimo in taluni luoghi dell'alta Italia. I giornali dell'epoca lo descrivono in varie guise. Alcuni parlano di vento furioso, che produceva un terribile e spaventoso fragore, altri di un *sifone*, altri di *trombe marine*, anzi di tre trombe marine (terrestri), di cui indicavamo la direzione del movimento. Il certo si è che a 6^h sera del 24 Settembre, in brevi istanti nei paesi di Chirignago,.... e principalmente Burano, questo spaventevole uragano distrusse molte case, abbattè tutti i pali del telegrafo, schiantò alberi, sommerse barche, ridusse intere strade a un mucchio di sassi, e tra le altre cose trasportò a gran distanza, come un fuscellino di paglia, una sentinella con tutta la sua garetta. Furono estratte dalle macerie molti cadaveri, senza parlare delle persone malconcie e ferite. »

Si è parlato molte volte, ed ancora recentemente, di polveri cadute in Italia ed in altri luoghi, e si è supposto che il vento le abbia portate dal deserto di Sahara. Prima di tutto io fo le mie riserve in favore dell'ipotesi di Arago, che questi pulviscoli possano avere un'origine cosmica. La somiglianza trovata col miscroscopio fra le sabbie meteorologiche e quelle raccolte nel Sahara, non prova molto più in favore dell'una che dell'altra ipotesi. Imperciocchè supponete che davvero piova di tempo in tempo dagli spazii celesti una piccola quantità di minutissimi aeroliti in forma di sabbia: è certo che la super-

ficie del deserto sarà coperta ad una sensibile altezza di cosiffatta sabbia, accumulata nel corso dei secoli; ma non sarà facile lo scorgerne le traccie permanenti nelle terre abitate, perchè la coltivazione e la naturale vegetazione le trasforma o le nasconde; molto meno in mare, dove andranno a raggiungere le antiche loro compagne nel fondo, e a mescolarsi cogl' innumerevoli gusci dei molluschi microscopici. La coincidenza ordinaria delle pioggie di arena coi venti del sud è per me un miglior argomento. Ammetto dunque qual fatto probabile che quelle sabbie vengano dal gran deserto Africano: ma il suo orlo settentrionale dista da Roma 700 miglia o 1300 chilometri. Non è supposizione eccessiva che nelle alte regioni i venti più impetuosi facciano un viaggio di 100 miglia all' ora; ed in media, fralle alte e basse regioni, 50 miglia all' ora. Le sabbie impiegherebbero, con tale velocità media, quattordici ore nel loro viaggio dal deserto a Roma. Ma chi deve tenerle sospese in aria per quattordici intere ore? Il vento ha una direzione media orizzontale, e se per pochi minuti secondi esso ha una componente verticale che spinga all'insù un corpicciuolo leggero, ad un altro momento presenterà una componente verticale negativa, e spingerà il corpicciuolo d' altrettanto all' ingiù: onde a lungo andare il vento non tende nè ad alzare nè ad abbassare i corpi abbandonati in sua balla. Le ceneri del Vesuvio sono arrivate talora a molte centinaia di miglia di distanza: fatto raro, ma certo, e da non maravigliarsene punto, purchè il vento spirasse fortemente in quella direzione. Imperciocchè la discesa di un grave, in una corrente orizzontale, di cui il grave è in balla, avviene allo stesso modo ed in egual tempo come avverrebbe nel mezzo tranquillo; ed infrattanto il moto orizzontale del grave è quello stesso della corrente.

Sì, ma vi era stata la forza esplosiva del vulcano,

la quale aveva lanciato a seicento e più metri al di sopra del cratere dei sassi di enorme grossezza, e poteva più facilmente ancora far salire una colonna d'aria calda, e in mezzo ad essa della cenere, ad un'altezza di varii chilometri. Ah, datemi non un vento ordinario, ma una tromba di terra, una plutonica colonna di aria calda e di vapore, che erompa verticalmente sul deserto, e salga ad un'altezza di otto o nove chilometri, non tanto per la sua forza eruttiva, quanto per la sua gravità specifica, inferiore a quella dell'aria ordinaria: allora sì comprendo che le minute arene, da lei strascinate a quell'altezza, ma ivi abbandonate al vento che spiri verso l'Europa, e scendendo a zigzag, come fanno i corpicciuoli leggeri di forma molto diversa dalla sferica, potranno impiegare anche quattordici ore, (Lez. XXXXV, pag. 86) a discendere da tanta altezza, e toccar terra in Italia. Ciò non toglie poi che non possano esservi anche ai nostri giorni, benchè più di rado, delle vere pioggie cosmiche di sabbia; che non ve ne possano essere state delle più abbondanti in antico; e che di là traggano origine le sabbie del deserto, e del mare.

Imaginiamoci ora che una colonna d'acqua calda, della stessa natura e provenienza di quelle che producono le trombe marine, erompa non dal fondo orizzontale o quasi orizzontale del mare nettunio, ma da una sponda di esso sensibilmente inclinata all'orizzonte, o ad ogni modo che questa colonna d'acqua calda sbocchi in una direzione sensibilmente diversa dalla verticale; e di più figuriamoci non una ma moltissime, ovvero poche ma grandissime di queste colonne di acqua calda, tutte con inclinazioni eguali, ovvero non molto divergenti, e che inoltre non sieno intermittenti, ma continue. Per cagion d'esempio supponete che tutte queste colonne acquee, di provenienza plutonica, sgorghino dalle sponde sottomarine

di un vastissimo bacino, qual è quello composto del mare delle Antille e del golfo del Messico, ed abbiano delle direzioni convergenti verso un comune sbocco, lo stretto della Florida, fra la penisola di quel nome ed il gran banco di Bahama: quale effetto idrodinamico supponete voi che ne nascerà? Ne nascerà una grandissima corrente di acqua calda, il famoso *Gulph-stream*, o *corrente del golfo;* la quale aiutata dall'impulso primitivo della massima corrente centrale od equatoriale, di cui il Gulph-stream è in certo modo una diramazione laterale; aiutata parimenti dalla potente azione del calor solare sul bacino originario, e dalla combinazione del moto iniziale della corrente col moto rotatorio della terra; preservata da rapide perdite materiali, mercè la grandezza stessa del suo volume, ed evitando pure un rapido rimescolarsi colle acque fredde, a cagione del suo stesso calore, e della conseguente leggerezza che la tiene come a galla sopra le acque fredde, percorrerà obliquamente quasi tutta la lunghezza dell'Atlantico settentrionale.

Da simili cause prende origine l'altra grande corrente analoga al Gulph Stream, ma meno veloce, e meno calda, perchè più sparpagliata, a cagione della diversa situazione dei continenti, cioè la così detta *Corrente nera del Giappone,* che muove dalla parte più calda dell'Oceano Pacifico, e rade le coste orientali dell'Asia.

E perchè non credo io che basti a dar ragione del Gulph-stream una semplice trasformazione della gran corrente equatoriale, dovuta alla barriera del continente Americano? Egli è perchè la temperatura, ma sopra tutto la velocità, del Gulph-stream è molto superiore a quella che potrebbe dipendere da una semplice deviazione della corrente equatoriale.

Ma se dell'acqua viene costantemente eruttata in una data plaga marittima dall'oceano plutonico, fa di

mestieri che altrettanta acqua sia dal mare plutonico assorbita in altre posizioni; e questo assorbimento darà origine a delle correnti irregolari, in altre parti del globo, ma dotate di una temperatura poco diversa da quella dei mari visibili da cui provengono, o cui traversano.

Io sospetto altresì, anzi credo, che altre eruzioni ed assorbimenti, più irregolari, ed in minori proporzioni, siano la più ordinaria gènesi delle tempeste. Al certo bisogna rinunciare all' idea della fluidità ed incandescenza di una gran parte della massa terrestre, o, ammessa questa, non si può a meno di ammettere qual necessaria conseguenza che avran luogo delle frequenti, anzi continue, gigantesche e tremende lotte fra l' oceano ardente al di sotto, e l' oceano acqueo al di sopra; salvo il caso che non si voglia fantasticare una crosta intermedia, priva di porosità, priva di ogni soluzione di continuità che vi possano mai aver cagionate le molteplici vicende geologiche, i tremuoti, i vulcani, le variazioni di temperatura, insomma un recinto ermeticamente chiuso da ogni parte, a rigor di termine, ed impenetrabile alla enormissima pressione del sovrapposto mare. Per me è anzi una circostanza maravigliosa la relativa moderazione dei temporali, delle burrasche, dei vulcani, e dei tremuoti, a fronte di ciò che sarebbe da aspettarsi in un mondo architettato senza altissimo senno. Noi passeggiamo spensierati e sicuri sopra le zolle fiorite che coprono il guscio, comparativamente sottile, di questo pianeta. Se il nostro sguardo potesse abbracciare il mare che agitasi e mugge continuamente sotto i nostri piedi, un mare di fuoco, lungo largo e profondo più di dodicimila chilometri, ci parrebbero giuochi, al paragone, le bolgie infernali poste in suo luogo dall' imaginazione, benchè sublime, di Dante Alighieri, e la terribile realtà di un diluvio di lava liquefatta, che trabocca dal cratere del Vesuvio o dell' Etna.

Digitized by Google

Io porto opinione che questa specie di valvole di sicurezza, intendo i vulcani terrestri o sottomarini, grandi e piccoli, ci arrechino una somma di benefizii permanenti, superiore di molto ai disastri momentanei de' quali essi pur sono feraci. La nostra atmosfera ha bisogno del connubio dell'elettricità positiva, che le viene dal sole, colla negativa che viene dalle viscere della terra; più ancora essa ha d' uopo del calorico prestatole dall' immenso focolaio sotterraneo; e ciò non solo per essere il calore mandatoci dal sole alquanto insufficiente nella sua somma totale, ma sopratutto perchè i raggi solari prediliggono troppo la zona tropicale, ed investono troppo obliquamente le altre zone. L' acqua del mare nettunio, assorbita dalle ardenti voragini sotterranee principalmente in vicinanza della linea equinoziale, convertesi in vapore, e così rende latente una grande quantità di vapore rapita al mare plutonico; poscia per qualche aumento locale di temperatura e di tensione laggiù, fra l' incessante oscillare dell' una e dell' altra, quel medesimo vapore, enormemente denso ed elastico, viene a galla in diversi punti della superficie terrestre; e, nel ritornare allo stato liquido, versa nel mare ordinario o nell' aria il calorico latente e libero sottratto al mare plutonico. Inoltre l' alternarsi dei vuoti e delle sovrabbondanze locali di pressione, nel mare ordinario e nell'aria, cospira colle variazioni del calore impartito giornalmente dal sole, per animare di un general movimento le due masse fluide; e questo movimento generale mescola e rimescola insieme tanto le colonne acquee come le aeree, contemperando e reciprocamente correggendo la freddezza delle colonne più vicine ai poli coll' eccessivo calore delle altre meno lontane dall' Equatore.

La successione del periodo gelido ai periodi di alta temperatura, nella lunga serie delle età geologiche, ha

Digitized by Google

la sua principale spiegazione nella comunicaione dell' oceano plutonico coll' oceano visibile. Dalle prime età azoiche sino alla fine dell' epoca terziaria le scambievoli comunicazioni dei due oceani furono maggiori che oggi non sono, non essendo nei primi tempi ancor tutta formata od abbastanza consolidata la corteccia che li separa; ed allora la temperatura media alla superficie della terra, era più alta che al presente non è; e tanto più alta quanto più indietro risaliamo nel buio delle prime età geologiche. Consolidatosi infine il guscio terrestre, ed anche troppo, il mare sotterraneo non recava quasi più alcun tributo di calorico al mare superiore, o ne contribuiva meno che ora non fa; perciò la temperatura media alla superficie terrestre era minore della presente: ma la reazione dei gas accumulati nelle caverne sotterranee, od il raffreddamento della crosta, la ruppero in varii luoghi, ed allora ricominciò un regolare flusso di calorico dal mare plutonico all' atmosfera terrestre, per mezzo dell' evaporazione delle acque del mare nettunio a spese del mare plutonico. Per nostra fortuna questo tributo è minore di quello che aveva luogo nelle prime età, e che rendeva impossibile l' esistenza dell' uomo; maggiore però che non fu nel breve periodo gelido, quando i soli abitanti della zona tropicale potevano menar vita lieta e civile, e quelli che avevano preso stanza nelle zone temperate imbarbarirono, e furon ridotti a prender rifugio contro all' orrido freddo nelle caverne dei monti, e contro alla fame, ancor più orrenda, divorando le iene e gli orsi spelei, loro forzati compagni di rifugio; quando non ne erano invece divorati essi medesimi, o, cosa di maggior raccapriccio, gli uomini facevano pasto gli uni degli altri.

Tratterò questi argomenti delle varie epoche della terra avanti la comparsa dell' uomo, e delle età preisto-

riche dell'uomo stesso, in altre lezioni future, non al certo coll'ampiezza che si richiederebbe ad esaurirli, ma un poco più in largo di quanto io potessi farlo in questa, la quale volge al suo termine.

Prima però di finirla davvero, voglio narrarvi un piccolo fatto, a me personalmente accaduto, e che sembrami in istretta relazione colla nuova teoria delle meteore di origine plutonica.

Una nave a vapore e ad elice, chiamata *The city of Manchester*, sulla quale io faceva viaggio dall'America in Europa, sofferse una terribile tempesta nei giorni di Venerdì 9, e Sabbato 10 Aprile 1852, ma più specialmente nel primo di quei due giorni, e nella notte intermedia. Furono i due giorni che immediatamente precedettero la Pasqua di quell'anno, quindi all'epoca del plenilunio, o poco dopo (Lez. XXXV, pag. 522). Nella sera del Venerdì, un flutto più grosso degli altri salì sulla nave, travolse in mare un povero marinaio che vi perì, e ruppe la coperta, o ponte superiore della nave. L'acqua precipitata nel lungo salone attorno a cui stavano le cellette dei passeggeri, spalancò l'uscio della mia, ed innondò il mio letticiuolo, e me che vi era coricato, dalla testa ai piedi. Io sentii una forte e distinta impressione di calore, come persona improvvisamente tuffata in un bagno caldo. Naturalmente il mio pensiero fu quello di sbalzar dal letto per correre sopra coperta, onde aver un po' più di probabilità di rimanere qualche tempo a galla, nel caso che la nave andasse a fondo: ma accortomi tosto che ciò non istava per accadere, andai in giro a far coraggio agli altri passeggeri, uomini e donne, che forse non avevano la mia tranquillità e sicurezza. Imperciocchè l'acqua moltissima penetrata fra i due ponti faceva uno spaventoso fracasso nell'agitarsi a seconda delle violente oscillazioni del bastimento, e la-

sciava credere a chi non vedeva come io lo stato reale delle cose, che noi fossimo già in parte sommersi nel mare, e non mancassero che pochi istanti ad esserne inghiottiti del tutto. Si comprende che i marinai furono solleciti a ributtar in mare quell' acqua mediante le trombe e le secchie, e vi riuscirono in alcune ore. Duolmi di non aver avuto l' idea di esplorare anche colla mano la temperatura di quell' acqua: son certo che guadandovi coi piedi immersi sino al di sopra delle caviglie, non ne avevo impressione di freddo, ed egualmente certo sono dell' impressione di caldo che ne ricevetti quando essa inondommi tutta la persona. Io ne deduco che la temperatura di quel flutto era superiore a 37° del centigrado, o ventinove di Réaumur, che è la temperatura del sangue umano: perchè se l' acqua fosse stata ad una temperatura più bassa di quella del mio sangue, mi avrebbe sottratta all' improvviso una considerevole quantità di calorico, invece di darmene come fece: avrebbe prodotto la sensazione del freddo, e non del caldo.

Donde veniva l' alta temperatura di quell' acqua? La temperatura dell' aria era bassa anzichennò, appena dieci di Celsio, per quanto posso raccogliere dalla rimembranza delle sensazioni che ne ebbi per un seguito di giorni prima e dopo di quello. Partiti da Filadelfia il primo di Aprile, giugnemmo a Liverpool il 15; quindi eravamo allora a tre quinti incirca del viaggio, e sopra il Gulph-stream, o non lungi da esso. La temperatura però del Gulph-stream, al suo maximum, non è secondo il Maury che di 31 centigradi, e ben minore ella deve essere a tanta distanza dalla sua origine, cioè alla latitudine di 48 in 49 gradi ove io allora mi trovava: ond' è che io sospetto che il flutto che mi asperse, e stette per sommergere la nave, avesse una diretta od indiretta provenienza plutonica, coerentemente alla teoria da me sinora svolta.

Ecco infine giunto il momento di sciogliere la mia ripetuta promessa di spiegare la correlazione, non costante, ma non infrequente nè fortùita, delle grandi meteore plutoniche colle fasi lunari. La spiegazione è facile e breve.

Le stesse cagioni del flusso e riflusso del mare ordinario, cioè la combinazione dell'attrazione del sole e della luna colla forza centrifuga, dovuta al moto della terra attorno ad essi, producono pure un quotidiano flusso e riflusso nel grande oceano sotterraneo. Benchè questo sia migliaia di volte più profondo di quello, pur si trova col calcolo che il dislivello superficiale dovuto al flusso e riflusso del mare sotterraneo non è gran fatto maggiore di quello cui osserviamo nel mare aperto. La grossezza media della crosta terrestre, sia pure di quaranta in cinquanta chilometri, è tanto piccola in paragone della sua estensione in superficie, che senza uscire dai limiti della sua elasticità essa soffre periodicamente quel piccolo rigonfiamento e restringimento che ci vuole per cedere in parte alle variate pressioni dell' oceano sotterraneo, ed insieme ubbidire alla forza centripeta e centrifuga, le quali operano direttamente anche sopra di lei, come sopra le onde dei due oceani. Essa cede parzialmente, io dissi; non del tutto. Le maree generali e locali, a noi visibili, risultano dalle differenze generali e locali dei tre gonfiamenti, e dei tre avvallamenti successivi, ai quali vanno contemporaneamente soggetti i due oceani, e la solida corteccia ad essi interposta.

Il rimescolamento però delle onde alla superficie del mare sotterraneo debb'essere proporzionatamente maggiore di quello che si osserva nei golfi e negli stretti del mare ordinario, perchè la superficie del mare sotterraneo confina colle asprezze della crosta terrestre non solo nel suo contorno, come la superficie del mare Net-

tunio, ma in tutta la sua estensione; oltrechè le ineguaglianze ed irregolarità della superficie interna della crosta sono probabilmente assai più grandi che le irregolarità della superficie esterna, a noi visibile.

La parte principale dell' acqua del mare, la *beca*, è una sostanza chimicamente stabile, cioè la combinazione dell' ossigene coll' idrogene in proporzioni determinate (Lez. XXVIII, pag. 360): ma le eruzioni dei vulcani ci attestano una considerevole diversità di elementi nella gran massa fusa che bolle sotto alla solida corteccia del globo; e questi diversi elementi della massa terrestre, mescolati alla rinfusa in proporzioni indefinite, ma in preda ad un' altissima temperatura, vanno soggetti senza dubbio a continue ed energiche vicende di composizione e scomposizione. Quanto più rapido è il rimescolamento meccanico, tanto più rapide e forti saranno le azioni e reazioni chimiche, le variazioni di temperatura, le vicissitudini idrauliche di pressioni o contropressioni. Ora il rimescolamento della massa terrestre, specialmente alla superficie del mare plutonico, è più forte nelle sizigie, cioè a luna nuova ed a luna piena, di quello che nelle quadrature; perchè nelle sizigie l' effetto della luna sulle maree, che è maggiore di quello del sole, grazie alla minor distanza, cospira coll' azione del sole; ed invece nelle quadrature l' influenza del sole e della luna, sul flusso e riflusso, sono opposte.

In un laboratorio chimico, il moto della spatola, agitando la mescolanza entro il vaso, ne sollecita ed attiva gli aspettati fenomeni di analisi o sintesi; così nell' immenso laboratorio della natura lo svolgimento del calorico e dei vapori e gas elastici, alla superficie del mare plutonico, sarà un poco più forte nelle epoche delle sizigie che in altri tempi; e perciò saravvi una probabilità alquanto più pronunciata, una frequenza un po' superiore

alla media, di meteore eruttive nei tre o quattro giorni di grandi maree presso al novilunio, e nei tre o quattro giorni egualmente di grandi maree presso al plenilunio: vi sarà, per lo contrario, una probabilità e frequenza leggermente minore della media, di tali eruzioni, ed una probabilità e frequenza superiore alla media, di meteore dipendenti dall' assorbimento, nei giorni di minime maree, cioè nelle quadrature della luna, come notammo che avviene realmente nel gorgo del Maëlstrom.

Prègovi a notare che il mio metodo, di spiegare i fatti non istati finora abbastanza spiegati, non consiste già nel dire: l'effetto B *può* derivare dalla causa A; ma nel dire: la causa A certamente e notoriamente *esiste*, e da essa *non può a meno* di venire l'effetto B con tutte le sue principali circostanze. Con questo però non intendo io già di escludere che a quello stesso effetto B possano per avventura concorrere altre cause, oltre la causa A da me addotta; conciossiachè le cagioni, del pari che gli effetti, sogliono essere estremamente complesse.

La consorteria scientifica ignorerà, sinchè le sarà possibile, la novella teoria meteorologica, e terrassi alla sua diletta massima: « *Nul n' aura de l' esprit hors nous et nos amis* »; ma la verità, ciò non ostante, farà la sua via. Del rimanente, i fenomeni dovuti alla comunicazione fra l' oceano sotteraneo e l' oceano ordinario non appartengono in modo esclusivo alla nostra terra. A suo tempo accennerò gl' indizii del verificarsi il medesimo fatto, e con una violenza proporzionatamente maggiore, anche in altri pianeti del nostro sistema.

Digitized by Google

LEZIONE LI

Vulcani, e Terremoti

Torino.

Allorchè la massa del globo terracqueo era ancora tutta allo stato di incandescenza e di fusione, essa prese naturalmente quella tal forma di sferoide oblata, ossia di ellissoide schiacciata ai poli, e gonfia all'equatore, che era la meglio adatta all'equilibrio fra la forza centripeta prodotta dall'attrazione reciproca di tutte le molecole componenti, e la forza centrifuga prodotta dal moto rotatorio del globo medesimo attorno al proprio asse. La parte superficiale, nel raffreddarsi, per divenire il solido inviluppo o crosta del globo, mantenne, con poca variazione, la primitiva forma; laonde in generale il sottoposto liquido incandescente non esercita alcuna grande pressione contro al guscio che lo circonda. L'elasticità e cedevolezza, la quale esiste in questo guscio come in tutti i corpi solidi anche i più duri, prèstasi ben anche a quella picciolissima e periodica variazione di forma che è richiesta onde adattarsi al flusso e riflusso del mare interno.

Pur nondimeno accade alcune volte, per varie cause, che la pressione dell'oceano sotterraneo contro alla crosta, diviene eccessiva: tal altra fiata, per lo contrario, ella divien negativa, od almeno insufficiente a controbilanciare il peso della crosta. In questo secondo caso la scorza si abbassa in virtù del proprio peso, tanto da colmare

il vano reale o virtuale che era rimasto al di sotto, e per tornar a posare o galleggiare sopra le onde del mare plutonico. Imperciocchè la gravità specifica media del mare sotterraneo è doppia, od un po più che doppia di quella della crosta, e d'altronde è dimostrato dalla Geometria non meno che dall'esperienza che un involucro sferico, deformandosi in un modo qualunque, abbraccia sempre uno spazio minore. Se per lo contrario la pressione dal basso all'alto diviene eccessiva, lo che avviene quando la parte sottoposta di liquido tende a pigliare maggior volume, l'involucro non vi può provvedere variando la sua forma, perchè egli aveva già la sua massima capacità. Nell'uno e nell'altro di questi due casi, diminuzione od aumento di volume del mare plutonico, se la variazione è minima, e non tale da far oltrepassare i limiti dell'elasticità della corteccia, questa potrà adattarvisi con un piccolo restringimento o dilatazione: ma per una variazione più forte la corteccia sarà ridotta a doversi rompere screpolando. Delle rotture per siffatta cagione sono avvenute più in grande che ora non avviene, nelle antichissime età del nostro pianeta, e n'ebbero origine le principali catene di monti, come meglio vedremo nelle lezioni intorno alla Cosmogonia ed alla Geologia: ma ne succedono anche ai nostri tempi, e ne sono conseguenza i terremoti.

Un'altra grande cagione delle screpolature della crosta terrestre sono le reazioni chimiche, le quali si succedono di continuo nel grande oceano sotterraneo, o dentro alle cavità secondarie. Infatti la superficie della terra è il florido teatro dell'azione organica, cioè dei fenomeni della vita ordinaria nelle piante, e negli animali: ma l'oceano sotterraneo è l'immenso laboratorio delle reazioni chimiche. Le ragioni sono due: lo stato liquido della materia in fusione. giusta l'antico adagio chimico, *corpora non agunt nisi soluta*, e l'alta temperatura.

Visitaste voi mai, o Signori, un' officina di gas per l' illuminazione? Voi vedreste una lunga serie di grandi recipienti di argilla refrattaria o di ferro fuso, chiamati impropriamente *storte*. Al di sotto, in appositi fornelli, arde del carbon fossile per portare ad un' alta temperatura quei recipienti. Dentro a quei recipienti, sta chiuso dell' altro carbon fossile, il quale non abbrucia propriamente, perchè è sottratto al contatto dell'ossigene atmosferico: ma egli diventa rosso, egualmente che il vaso che lo contiene, perchè l' alta temperatura è sempre accompagnata da abbondante sviluppo di luce. Ma quell' alta temperatura fa un altro uffizio ancora: decompone il carbon fossile chiuso dentro la storta: lascia in fondo del carbonio quasi puro, che chiamasi *coke*, e forma nuovi composti, dei quali i più abbondanti e più importanti sono due diverse combinazioni di idrogene e di carbonio, in proporzioni determinate: la *bòafa*, o gas idrogene protocarbonato, detto ancora gas infiammabile delle paludi; ed il *fàoco*, o gas idrogene deutocarbonato (Lez. XXVIII pag. 377). Questi due gas, depurati in apposito apparecchio, sono i due costituenti del comune gas illuminante.

Una qualunque di quelle storte, creatrici del gas dell' illuminazione, sono immagini in miniatura degli occulti ma immensi lavori chimici che debbono avvenire nell' interno della terra. La gigantesca attività di un tale laboratorio fu di gran lunga maggiore che ora non è, nelle prime epoche geologiche, allorquando regnava una più alta temperatura, ed i differenti materiali erano meno mescolati che non lo sono al presente. Ma oggi ancora, mediante il rimescolamento generato dal flusso e riflusso del mare sotterraneo, e l' alterno discendere delle molecole raffreddate, e riascendere delle altre, devono continuamente venire in presenza gli uni degli altri quegli

elementi eterogenei che tendono energicamente a comporsi fra loro, decomponendo le antiche aggregazioni, quando i costituenti di queste erano dotati di una minore affinità reciproca. I nuovi composti talora saranno più gravi, tal altra volta più leggeri di quelli a cui sostituisconsi; e saranno anche spesso gazzosi. Ad ogni modo i più leggeri, e quindi più voluminosi, saliranno verso la superficie, ritardando le altre molecole, dotate di una maggior velocità di rotazione, ed essendone essi invece accelerati: come i composti più raffreddati o naturalmente più gravi, nel discendere verso il centro, vi porteranno la maggiore velocità di rotazione da cui erano animati negli strati superiori, e ne saranno essi vicendevolmente ritardati. Questi reciproci ritardi ed acceleramenti nella massa interna della terra, sono analoghi, nelle loro cause ed effetti fisici, alle grandi correnti dell'atmosfera e del mare ordinario, e promuoveranno una maggiore attività di operazioni chimiche.

Noterò per incidenza il dubbio che può sorgere spontaneo nelle menti più istrutte e più perspicaci, che questo rimescolamento interno non possa produrre alla lunga una sensibile diminuzione nella velocità del moto diurno del globo. Questo dubbio, ad ogni modo, non basta ad escludere il fatto della fluidità della maggior parte del globo, la quale è sostenuta da troppo solide ragioni per poter essere negata. Il continuo rimescolamento avviene di certo, ma forse è abbastanza piccolo per non dover produrre un sensibile affievolimento del moto rotatorio, quand'anche la massa fluida fosse priva di elasticità; forse ancora, e più probabilmente, l'altissima temperatura mantiene la massa fluida allo stato fisico di gas, benchè l'altissima pressione, coerentemente alla legge di Mariotte estesa sino a lontani limiti, benchè non all'infinito, ne formerà un gas più denso della maggior

parte dei liquidi. L'aria stessa, per esempio, sotto una pressione di ottocento atmosfere, sarebbe più densa dell'acqua. Ma per quanto grande sia la pressione dovuta al peso delle colonne sovrincombenti, se le colonne fluide sotterranee, per loro natura, o la mercè del calorico soprabbondante, serbano lo stato aeriforme, elleno avranno una perfetta elasticità; e così il loro reciproco urto o mescolanza, non essendo seguito da alcuna perdita di forza viva, non darà occasione ad alcun rallentamento, nè sensibile nè insensibile, della rotazione diurna.

Che se pure vi è scontro parziale di veri liquidi, come al certo vi sarà in qualche parte, e perciò una perdita momentanea di forza viva meccanica, questa perdita di forza viva convertesi in calorico: ma questo calorico, nella massa terrestre chiusa entro un inviluppo grosso più di quaranta chilometri, non disperdesi punto, o disperdesi soltanto in minima quantità; non già quasi in totale, come il calorico generato da due corpi che urtansi all'aria aperta. Quel calorico adunque, prodotto dagl'incontri delle correnti, anche liquide ed inelastiche, in seno alla terra, non andrà disperso, e sarà atto a restituire la forza viva meccanica ond'egli provenne.

Avvi un'ipotesi mista od intermedia, fra quella dell'assoluta fluidità della maggior porzione del globo, e quella dell'assoluta solidità di tutta la sua massa: è un'ipotesi la quale merita di essere riferita almeno incidentemente, e lo farò qui, non avendo io trovato prima altra più acconcia occasione di parlarvene. È l'ipotesi la quale ammette che la maggior parte della massa del globo sia solida per un effetto della compressione, superante la forza dilatatrice del calore; in guisa che, se per una ragione qualunque viene a diminuire la pressione, una parte della massa testè solida convertesi all'istante in liquido, e può essere spinta insù fuori dei crateri dei

vulcani. Questa ipotesi differisce non poco da quella cui ho precedentemente svolta sotto il punto di vista teorico, ma molto meno in quanto alle conseguenze pratiche le quali se ne trarrebbero logicamente.

Qualunque sia la causa ed il modo delle variazioni di densità, le sostanze composte o semplici più leggere saliranno dalle regioni inferiori verso la superficie, e faran forza contro alla sovrapposta corteccia, onde acquistare la voluta espansione. Giunta che sia la tensione ad un certo limite, essa vincerà la forza di coesione della solida crosta, e succederà una soluzione di continuità, nella solita forma di una screpolatura.

In circostanze ordinarie il fluido incandescente del mare plutonico, prodotta che sia una spaccatura, alzerassi bensì entro una parte di questa apertura, ma generalmente non uscirà all'aperto, poichè fa di mestieri che, dentro e fuori della fessura, egli mantengasi al livello generale dell'oceano sotterraneo, livello che dappertutto è inferiore alla superficie esterna della Terra. Qualche volta però avviene che un prodotto aeriforme, costituitosi laggiù per una intestina reazione chimica, venga ad accularsi in una volta sotterranea, in una maniera analoga a quella dell'aria nella cavità detta appunto *camera d'aria*, che si mette nelle trombe per gl'incendii ed in altre trombe prementi, col doppio intento di attutire le scosse prodotte dal moto alternato dello stantuffo, e di ottenere un getto più continuo e più regolare. In tal caso, come l'aria compressa dentro alla camera d'aria preme sull'acqua a lei sottoposta, e la costringe a salire pel tubo pieghevole che la conduce contro alle fiamme da estinguersi, così i gas altamente riscaldati, densi ed elastici, accumulati sotto alle grandi volte della corteccia terrestre, fanno schizzare allo insù anche dei liquidi ardenti, i quali escono all'aperto, sotto nome di lava, per le bocche dei vulcani.

Non è a credersi perciò che le lave liquefatte, traboccanti dai crateri vulcanici, abbiano una diretta provenienza dal grande oceano sotterraneo, benchè sia evidente derivar elle da una qualche sotterranea cavità secondaria. Ma questa cavità sotterranea non può essere in comunicazione liberissima col grande oceano plutonico, il cui livello è inferiore di molti chilometri al livello del mare nettunio: altrimenti le leggi dell' Idraulica renderebbero impossibile alle lave l' alzarsi sino all' orlo od anche ai fianchi del cratere, superiori sempre al livello del mare.

Ben ponderate tutte le circostanze, sarem condotti a dedurne diverse conseguenze. In primo luogo, gli speciali serbatoi sotterranei dei vulcani stanno al di sopra dell' immensa cavità sferica, costituente la maggior porzione del volume del globo terracqueo. Ne dedurremo in secondo luogo, che al fondo dei serbatoi de' vulcani esistono delle materie eterogenee di una fusibilità maggiore di quella che compete in generale all' involucro del globo. Per cagion d' esempio lo zolfo fondesi a soli dieci gradi sopra la temperatura dell' acqua bollente: la fusione del granito richiede una temparatura mille e dugento gradi più alta. Fra i materiali eterogenei, di tempo in tempo, sviluppansi delle reazioni chimiche di molta violenza, od ancora delle vere combustioni, poichè le speciali caverne dei vulcani sono accessibili all' aria, e ne nasce la fusione di una grande quantità di materia dianzi solida, e lo sviluppo di gas e di vapori ad una tensione estremamente forte. Bisogna che alcune delle vastissime caverne vulcaniche sieno talmente conformate che la sottoposta materia bollente precluda ogni uscita ai gas e vapori che occupano la parte superiore. Fa di mestieri infine che la tensione dei gas e dei vapori imprigionati sia superiore alla pressione di una colonna di lava la quale

avesse la medesima base delia massa gazzosa, ed un'altezza eguale a quella della bocca del cratere sopra quella stessa base. Per esempio se le volte della gran caverna dell' Etna fossero settecento metri sotto la superficie del mare, quindi quattromila metri sotto alla cima del vulcano, e la gravità specifica della lava si rèputi eguale ad una volta e mezza quella dell' acqua, ci vorrà alla base una tensione di seicento atmosfere per poter innalzare quella colonna di lava. Se il fluido elastico che dee somministrare colla sua pressione la forza ascensiva, è il vapore acqueo, derivato dai trapelamenti del vicino mare, basterebbe a produrre quella tensione di seicento atmosfere, secondo la formola empirica di Dulong e Petit, una temperatura di 462 gradi; alquanto maggiore di quella che ci vuole per la fusione del vetro.

Dirò per ultimo un' altra gran causa di rotture nell' inviluppo terrestre: ma per poterla far bene comprendere, mi è d' uopo rammentarvi il famoso principio di Archimede, fondamento dell' Idrostatica. I corpi immersi, in un liquido o fluido aeriforme, vi perdono tanta parte del loro peso quanto è il peso del fluido spostato. (Lez. XVII, pag. 202); ond' è che un corpo solido, leggero quanto si voglia, non può galleggiare sopra un liquido senza esservi in qualche parte immerso. Perciò la crosta della terra, supponendola di una densità media eguale alla metà di quella della sottoposta materia in fusione, non potrebbe reggersi al di sopra di essa se non a condizione di essere ermeticamente chiusa da tutte le parti, ciò che non può darsi, ovvero che il liquido sotterraneo per qualche antica o nuova rottura, o per qualche naturale cavernosità della crosta, non alzisi qua e là dentro di essa ad un' elevazione eguale a un di presso alla metà della grossezza della crosta medesima.

Signori, questa mia affermazione parrà nuova e pa-

radossa a quelli che non han fatto buoni studii, almeno elementari, di Idraulica. Sopra il medesimo principio però è fondata una curiosa esperienza, chiamata appunto il paradosso idraulico; e sopra di esso poggia pure la bella ed utile macchina, inventata od almeno perfezionata dal meccanico Inglese Bramah, e conosciuta sotto il nome di torchio idraulico.

Ciò premesso, rientriamo nel campo delle congetture e delle ipotesi, non più egualmente sicure come un principio di Idrostatica, ma pure altamente probabili.

Intendasi bene come ipotesi fondamentale, ma quasi tanto certa quanto un fatto dei meglio provati, che il globo terracqueo è principalmente composto di una immensa cavità centrale, di forma in realtà sferoidale, ma quasi esattamente sferica, la quale occupa la maggior parte del di lui volume, e di una corteccia esterna che d'ognintorno abbraccia quella gran cavità centrale. La precisa grossezza media di questa corteccia non è nota; non possiamo dilungarci moltissimo dal vero, supponendone la grossezza eguale a 44 chilometri, o 24 miglia italiane, il suo volume eguale ad una quarantottesima parte del volume totale del globo, e la massa ad un centesimo di quella del globo.

Ma altra cosa è la grossezza media della crosta, altra la grossezza effettiva in questo o quel luogo. La grossezza effettiva deve essere in alcuni luoghi maggiore della media, ed ivi ella si addentra e si profonda, come per una specie di grandissimi denti, nell'oceano plutonico: in altri luoghi la grossezza effettiva della crosta sarà minore della media, ed ivi perciò esistono delle grandi caverne secondarie, moltissime delle quali comunicheranno coll'immensa caverna centrale, e molte altre saranno interamente racchiuse nella crosta, e perciò prive di comunicazione tanto coll'oceano sotterraneo,

quanto col mare ordinario o coll'atmosfera; altre infine, ma in minor numero, saranno in comunicazione coll'oceano ordinario, o coll' atmosfera. Quest' ultima specie di caverne sotterranee, quando elleno sono a sufficiente profondità perchè vi regni una temperatura atta a fondere lo zolfo, ed altre materie di facile fusione, forma gli speciali serbatoi dei Vulcani.

Lo zolfo si liquefà a 110° e bolle a 400°. Ora i vulcani esalano di continuo dei vapori di zolfo. Supponendo dunque che la temperatura cresca di un grado per ogni 34 metri, le caverne dei vulcani non possono aver meno di tredici in quattordici chilometri di profondità, o quasi un terzo della grossezza media della crosta terrestre.

Ora le pareti di tutte queste grandissime caverne sotterranee, cioè tanto la grossissima parete della immensa cavità centrale, quanto le pareti meno grosse delle caverne secondarie, se mancano di uno sfogo continuo, come l'hanno le caverne dei vulcani, sorte di valvole di sicurezza, saranno evidentemente soggette a screpolarsi. Quando pure non conoscessimo un solo dei fatti relativi ai terremoti, i principii generali della Fisica ci condurrebbero a stabilire *a priori* che non solo *possono* ma *devono* di tempo in tempo avvenire delle rotture in quelle pareti, per diverse cause, alcune delle quali abbiam già passato in rassegna. Ora ne dirò un'altra. In molte di quelle grandi cavità secondarie della crosta terrestre, cavità prodotte forse da un maggior grado di fusibilità delle materie componenti, alloggiasi quella porzione che ascende sopra il livello medio dell'oceano plutonico sino ad un'altezza maggiore della metà della grossezza media della corteccia, per dar forza al resto della superficie dell' oceano sotterraneo di sostenere l'enorme peso di tutta la corteccia stessa. Ma, a poco

per volta, questa materia in istato di fusione, circondata qual è dalla crosta che è meno calda di lei, e raffreddata più attivamente ancora dall'evaporazione dell'acqua che filtra giù dalla terra e dal mare, incomincia a consolidarsi ancor essa, ed a far tutto un maschio colla caverna che la copriva. Quasi tutti i liquidi consolidandosi, con cristallizzazione o senza, si dilatano; così l'acqua nel gelarsi dilatasi di un decimo; alcuni invece si restringono, come il ferro; e quest'ultima circostanza agevola molto l'ottenimento di regolari forme dal ferro fuso gettato negli stampi, mentre la circostanza opposta fa sì che il gelo spacca le pietre; ma anche il restringimento della materia consolidata servirebbe a rompere lo stampo se questo fosse gravato da un prepotente peso, straniero o suo proprio. Come il cuneo, ficcato dallo spaccalegne in una prima fessura del ceppo, finisce coll'estendere quella fessura anche dove non arriva la punta del cuneo, così la cristallizzazione della materia, granitica od altra, nelle vaste caverne sotterranee, a lungo andare produrrà uno o più crepacci anche nella parte superiore della crosta.

Altra cagione di screpolatura può essere la mancanza di equilibrio locale fra la pressione del fluido sottoposto, ed il peso della crosta stessa. Cotesta mancanza di equilibrio può verificarsi in ispecial modo perchè i gas o vapori, imprigionati in una caverna secondaria, acquistino una tensione sensibilmente inferiore o superiore al peso della crosta sull'unità di superficie.

A voler meglio comprendere come la crosta terrestre, malgrado la sua solidità e la sua enorme grossezza, sia soggetta a sobbarcarsi alle vicendevoli prevalenze del suo proprio peso e della contropressione esercitata dall'oceano sotterraneo, imaginiamo un parallelepipedo di pòrfido, la cui resistenza allo schiacciamento si riguarda

Digitized by Google

come eguale alla metà incirca di quella del ferro, e quadrupla di quella del granito. Si hanno pochissimi lumi intorno alla resistenza di questa e delle altre pietre alla rottura in altri sensi: tuttavolta per comodità del nostro argomento supponiamo che la resistenza del porfido alla rottura, in tutti i sensi, sia in ragione di 2400 chilogrammi per centimetro quadrato, benchè in pratica non sarebbe prudenza il sottoporre permanentemente questa pietra neppure ad una decima parte di tal carico.

L'imaginato parallepipedo di porfido sia lungo orizzontalmente un chilometro, e largo quanto si voglia, posando sopra due saldi appoggi alle due estremità. Colle formole della resistenza rispettiva, trovasi che questa gran trave di porfido dovrebbe avere una grossezza almeno di 240 metri, altrimenti essa spezzerebbesi tosto nel mezzo pel solo effetto del suo proprio peso. Se noi aumentiamo tutte le dimensioni della trave di porfido in egual proporzione, la rottura per cagione del proprio peso sarebbe tanto più sicura, perchè nel mentre che noi accresciamo la resistenza in ragion del quadrato, noi in pari tempo cresciamo il peso rompente in ragione del cubo di un lato omologo. Quindi se la trave di porfido fosse lunga cento chilometri, e grossa cinquanta chilometri, lungi che bastasse questa grossezza ad impedire l'infrangersi di lei pel suo proprio peso, essa avrebbe bisogno di esser sostenuta al di sotto da una contropressione eguale almeno a 47 quarantottesimi del suo peso. Se pertanto la contropressione dell'oceano plutonico da sotto in su, contro alla crosta, fosse dapprima bastevole a controbilanciare il peso della crosta stessa, ma poscia la contropressione venisse a variare di un quarantottesimo in più od in meno, basterebbe ciò ad infrangere od almeno piegare la crosta. Ma non ci vuol molto a produrre una variazione di un quarantot-

tesimo, o poco più del due per cento, nella tensione dei gas sotterranei. Se il gas premente fosse vapore acqueo, alla temperatura di 1300°, che è quella della fusione del granito, la sua tensione alla temperatura di 875 gradi, secondo la formola empirica di Dulong (*), sarebbe più di dodici mila atmosfere, od atta a sostenere tutto il peso della crosta terrestre. Ma se la temperatura discendesse da 875 ad 870 gradi, o salisse a 880 gradi, cioè variasse della tenuissima quantità di soli cinque gradi, in più od in meno, la tensione del vapore calerebbe o crescerebbe in una proporzione assai più forte, cioè di circa 300 atmosfere, od un quarantesimo. Se dunque la temperatura della superficie dell'oceano plutonico venisse ad aumentarsi di cinque gradi, sopra il suo medio valore, la crosta della terra si spaccherebbe per dilatarsi; ove la temperatura della superficie dell'oceano plutonico, invece, si abbassasse di cinque gradi, la crosta medesima, insufficientemente sostenuta, si romperebbe in altro modo, accasciandosi sotto l' eccesso del proprio peso.

Tutte queste lunghe considerazioni ho dovuto svolgere, non solamente perchè erano necessarie alla nuova teoria dei terremoti, ma altresì, e più ancora, perchè esse sono necessarie alla nuova teoria delle maree, ed alla nuova teoria geologica, le quali esporrò in altre lezioni. È ben vero che i precedenti calcoli sembrano dipendere dalla formola empirica di Dulong e Arago, la quale non è discretamente appoggiata al fatto se non

(*) $$F = (1 + 0,715\, t)^5;$$

ove F esprime la forza elastica del vapore in atmosfere, e t la temperatura in unità di 100 gradi centigradi per ciascheduna, al di sopra del punto di ebullizione.

fino ai limiti di 224 gradi, o di 24 atmosfere, a cui furono spinte le esperienze di quei due fisici. Ma la conchiusione importante alla quale io mirava, e che rimane inconcussa anche malgrado la probabile inesattezza di quella formola per le altissime temperature, è soltanto questa: che alla base della crosta terrestre, ove, senza alcun dubbio, regna una temperatura di più di mille gradi, deve pur esservi una enormissima tensione di vapori di tutti i generi; e che basta una ben piccola variazione di temperatura, per cagionarne una comparativamente assai maggiore nella tensione, e sufficiente a produrre delle sensibili espansioni, o dei sensibili ritiri della corteccia terrestre; espansioni e ritiri che non produrranno rottura, se avvengono entro i limiti di elasticità della crosta, ma produrranno delle rotture, quando i limiti di elasticità della crosta, sono oltrepassati.

L'espansione e restringimento della corteccia terrestre, entro i limiti della sua dilatabilità ed elasticità, avvengono regolarmente ogni giorno, ad un intervallo di circa sei ore, per effetto delle maree dell'oceano sotterraneo, come vedremo nella prossima lezione. Le espansioni e ritiri, al di là dei limiti di elasticità, o le rotture, sono fortunatamente più rare; ma pure avvengono di tempo in tempo, e producono i terremoti.

Gli effetti i più terribili, benchè fortunatamente non i più comuni, dei terremoti, sono i più facili a spiegarsi: ritiro istantaneo del mare dal lido; ritorno delle onde furiose ad un'altezza maggiore del più alto flusso; voragini longitudinali improvisamente spalancate; rovesciamento di case, e talora di intere città; migliaia di creature umane inghiottite dalla terra, o stritolate sotto alle rovine degli edifizii; come nel famoso tremuoto del primo Novembre 1755, in cui perirono sessantamila persone a Lisbona, e quarantamila in altre parti di Europa e di

America. Giuseppe Baretti, che visitò Lisbona cinque anni dopo quella terribile catastrofe, scrive così ai suoi fratelli: « Per una strada che è lunga più di tre miglia e che era la principale della città, non vedi altro che masse immense di calce, di sassi e di mattoni accumulate dal caso, dalle quali spuntano fuori colonne rotte in molti pezzi, frammenti di statue, e squarci di mura in milioni di guise. E quelle case che son rimaste in piedi o in pendio, novantanove in cento sono affatto prive di tetti e de' soffitti, che, o furono sprofondati dalle ripetute scosse, o miseramente consumate dal fuoco. »

Il memorando terremoto delle Calabrie nel 1783 fu descritto con vivi colori da due eminenti storici italiani, Carlo Botta, e Pietro Colletta. Il Colletta nella sua storia del Reame di Napoli, ne parla così: « Il 5 Febbraio, quasi un'ora dopo il mezzogiorno, si sconvolse il terreno, in quella parte della Calabria, ... cui chiamano La Piana, perchè il paese sotto gli ultimi Appennini si stende a pianura per ventotto miglia italiane, e diciotto in larghezza. Durò il tremuoto cento secondi: sentito sino ad Otranto, Palermo, Lipari e le altre isole Eolie; ma poco nella Puglia e in Terra di Lavoro; nella città di Napoli e negli Abbruzzi nulla. Sorgevano nella piana centonove città e villaggi, stanze di centosessantasei mila abitatori; e in meno di due minuti tutte quelle moli subissarono con la morte di trentadue mila uomini d' ogni sesso ed età..... Nulla restò delle antiche forme; le terre, le città, le strade, i segni svanirono; così che i cittadini andavano stupefatti come in regione peregrina e deserta. Quel che un giorno stava ancora in sublime, nel vegnente precipitava; imperocchè i moti durarono, sempre forti e distruggitori, sino all'Agosto di quell' anno, sette mesi: tempo infinito, perchè misurato per secondi. I turbini, le tempeste, i fuochi de' vulcani e degl' incendii, le

pioggie, i venti, i fulmini accompagnavano i tremuoti. Etna e Stromboli più del solito vomitarono lava e materie; il Vesuvio durò nella quiete. Fuoco peggiore dei vulcani veniva dagli accidenti del tremuoto; avvegnachè ne' precipizii delle case, le travi cadute sui focolari bruciavano, e le fiamme dilatate dal vento apprendevano incendii tanto vasti che parevano fuochi uscenti dal seno della terra; donde le false voci e le credenze di ardori sotterranei. » Checchè ne pensassero il Baretti, ed a suo esempio il Colletta, non mi sembra che l'opinione popolare andasse in questo caso errata. È appena probabile che di dieci mila case rovesciate, ne abbruci una perchè le travi capiteranno a cadere sul focolaio; è di gran lunga più inverosimile ancora che succedano, per questa cagione, delle migliaia di incendii. È più credibile che in un terremoto straordinario la terra vòmiti del gas idrogene carburato ad alta temperatura, tale da infiammarsi al contatto coll' aria, come avviene di continuo nel vulcanetto di Pietramala.

I tre fenomeni che accompagnano tutti i terremoti, grandi o piccoli, sono 1.°: il cupo rombo sotterraneo che precede o segue la scossa; 2.°: una o due, talvolta più scosse molto sensibili, in direzione verticale od orizzontale, ma per lo più orizzontale; 3.°: un tremito della terra che per pochi secondi precede e segue gli scuotimenti.

Benchè il più delle volte questi tre fenomeni rechino maggior paura che danno, pure eglino sono meno facili a spiegarsi che le altre circostanze delle quali ho parlato prima, più terribili, ma fortunatamente più rare.

Invero, che debba esservi una o più scosse, non è il fatto più malagevole a comprendersi. Ma perchè sono queste scosse quasi sempre o principalmente orizzontali? Se anche vi sono le scosse verticali, o sussulti, esse occupano sempre il minor tempo, in paragone delle scosse

orizzontali, dette ondulatorie. La nostra teoria è la sola, a parer mio, che dia piena e soddisfacente spiegazione di tutti e tre i fenomeni testè annoverati.

Tutti i corpi solidi sono dotati di elasticità. È inesatto il dire che vi sono de' corpi perfettamente elastici, e degli altri imperfettamente elastici. Tutti i corpi solidi sono perfettamente elastici entro certi dati limiti di dilatazione o compressione, ed imperfettamente elastici, o non elastici affatto, al di là di quei limiti. Solamente variano assaissimo questi limiti da un corpo ad un altro. Alcuni sono suscettibili di una considerevole compressione ed estensione, come l'avorio, prima di uscire dai limiti di elasticità; altri non soffrono che un ritiramento od allungamento lineare molto minore. L'aria e gli altri fluidi aeriformi si possono considerare come praticamente forniti di una perfetta elasticità nel senso della resistenza alla compressione, perchè compressi quanto si voglia coi mezzi ordinarii che sono a nostra disposizione, mantengono intera virtù di estendersi di nuovo ed indefinitamente, al ritrarsi o diminuire della forza premente: è certo però che debbono esservi dei limiti di distanza fra gli atomi o le molecole di tutti i gas, tali da non permettere affatto un ulteriore avvicinamento da una parte, nè un ulteriore allontanamento dall'altra, senza che sia permanentemente alterata o guasta la natura fisica del gas. Ma tutti i veri corpi solidi, non i semisolidi come sono le paste ed il fango, od altri aggregati privi di coesione, hanno una certa determinata distanza reciproca delle loro molecole, che corrisponde al loro stato naturale di equilibrio. Se eglino vengon compressi, avvicinando le molecole una all'altra, o dilatati allontanandole reciprocamente, purchè non oltrepassino il limite di di elasticità, essi fan forza per ritornare alla distanza di equilibrio. Lasciati in libertà vi ritornano di fatto: se non che

la forza d' inerzia e la velocità preconcepita li fanno oscillare a guisa di pendolo, restringendosi eglino od allargandosi a vicenda, per un certo tempo. Queste alternative costituiscono il tremito, o movimento vibratorio del terremoto, vibrazione la quale comunicasi anche all' aria, e ci si rende sensibile come suono o rombo. Qui sarebbe desiderabile lo spiegare la ragione matematica e meccanica, per la quale una rottura già incominciata in uno strato solido qualunque, aiuta il proseguimento della rottura in una linea presso a poco retta; ma dispero di poterla dare con sufficiente chiarezza in una lezione popolare. Pei non matematici basta all' uopo nostro il fatto cui essi medesimi possono osservare, che nelle lastre di genere qualunque, per esempio di metallo, di ghiaccio, di creta rasciutta, le screpolature sogliono avvenire in una linea quasi retta, od in una linea spezzata (*).

(*) I non matematici poco aiuto avrebbero da una figura: i matematici possono costruirsela da sè colle seguenti indicazioni. Imaginino essi una lastra rettangolare, di cui gli orli più lunghi sieno fissi, ma che nelle linee trasversali, perpendicolari a quegli orli, soffrano soverchia distensione, ossia un eccessivo allontanamento delle molecole. La rottura tenderà ad effettuarsi di preferenza nella linea mediana, con una forza totale proporzionata alla lunghezza di essa linea mediana, moltiplicata per un certo coefficiente K. La coesione resisterà a quella tendenza con una energia proporzionale essa pure alla lunghezza della linea mediana, moltiplicata per un cert' altro coefficiente K'. Incominciata la rottura ad una estremità, ed operato un primo spacco parziale, l' elasticità riavvicina al grado di naturale equilibrio le molecole più prossime all' estremità esteriore della rottura; ma nelle molecole più prossime all' estremità interiore della rottura stessa, il riavvicinamento sarà ancora incompleto, e

Ecco in questa striscia di gomma elastica, alla quale ho sospeso una palla pesante, una imitazione visibile delle vibrazioni ordinarie dei corpi elastici attorno alla posizione di equilibrio. Voi vedete che tenendo io sospesa con una mano l'estremità superiore della striscia elastica, e lasciando cadere la palla, questa allunga la striscia, poi la striscia rialza la palla, indi la palla si abbassa di nuovo, riallungando la striscia, e così via via. Le oscillazioni, qui ampie e lente, e perciò facili a scorgersi ad occhio, corrispondono alle vibrazioni generalmente rapidissime e corte degli altri corpi elastici; vibrazioni perciò più sensibili all' orecchio che all' occhio. L' acutezza di un tono è proporzionale al numero di vibrazioni compiute dall' istrumento o mezzo sonoro in un dato tempo. Il numero di vibrazioni di una corda sonora in un dato tempo è in ragione inversa della lunghezza, in ragione inversa del diametro, ed in ragione diretta della radice quadrata della tensione. Il tuono più profondo o più basso

---

queste molecole, di qua e di là dalla rottura, non più arrestate dalla reciproca coesione, tenderanno ad avvicinarsi di più agli orli longitudinali della lastra. Lo sforzo di reciproco allontanamento di queste particelle, di qua e di là della rottura, aiuta lo sforzo che fanno per allontanarsi reciprocamente le molecole di qua e di là da quella parte di linea mediana che non è ancor rotta. Prima della parziale rottura, eravi quasi equilibrio fra la coesione e la forza rivulsiva, in ogni parte della linea mediana: adesso che la coesione di una parte della linea mediana è distrutta, e la forza rivulsiva della parte non rotta è aiutata dalla forza rivulsiva delle molecole attorno alla linea di rottura, la forza rivulsiva nella parte non ancor rotta prenderà il sopravvento sopra ciò che rimane di coesione, e la spaccatura progredirà indefinitamente.

che possa udirsi dalle più grosse canne, o più grossi tubi di organo, corrisponde a 32 vibrazioni per minuto secondo: un tuono più basso difficilmente può distinguersi. Di qui è facile il comprendere che se il rombo del terremoto ha una specie di tuono percettibile, benchè eccessivamente cupo, essendo di straordinaria grossezza il terribile istrumento sonoro cioè la crosta della terra, doveva esserne altrettanto straordinaria la tensione la quale ne cagionò la rottura, e quindi la pose in istato di vibrazione. Imperciocchè, appena accaduta la frattura, le molecole dapprima troppo lontane, ora non più rattenute dalla coesione che esisteva nella linea di probabile rottura, si avvicinano fra loro, ed agli orli laterali della lastra; ma raggiunta rapidamente la distanza corrispondente all' equilibrio di elasticità, l' inerzia, o velocità preconcepita, le ravvicina ancora di più, cioè di troppo: perciò l' elasticità le allontana di nuovo, le ritorna alla distanza di equilibrio; indi l' inerzia le fa di nuovo allontanare di troppo, e così via via: insomma ha luogo una vibrazione continuata per un tempo più o meno lungo.

Negl' inviluppi che screpolano, la screpolatura suol essere perpendicolare alla superficie; quindi nella crosta orizzontale della terra la superficie di screpolatura deve essere press' a poco verticale. L' allontanamento reciproco poi delle due labbra della fessura è nel senso della superficie, o perpendicolare alla linea di screpolatura; dunque nella corteccia terrestre il vibratorio allontanamento delle particelle, o tremore, deve consistere principalmente in una mossa orizzontale. Ecco la ragione delle oscillazioni orizzontali del tremuoto.

Domanderete forse perchè il rombo sotterraneo suol precedere la scossa. Dirovvelo. Voi potete aver osservato che quando succede una screpolatura in un inviluppo qualunque, come nella vernice, o nel vetro, la rottura

incominciata in un punto qualunque propagasi per una o più linee, quasi rette, come già dissi, e che raggiano da quel punto con una certa rapidità, ma non istantaneamente. La linea di un terremoto di mediocre veemenza estendesi con una velocità di circa quattro chilometri ogni minuto primo. A cagion d'esempio il terremoto del 25 Giugno 1869 fece sentire la sua prima scossa a Bologna alle ore 2 e 58 minuti e mezzo dopo mezzogiorno, a tempo medio di Roma: ma a Firenze, con una distanza d'aria di 85 chilometri da Bologna, scoppiò alle 3 e venti minuti. Ma se il primo punto di frattura non ha luogo esattamente sotto i vostri piedi, prima che la formidabile crepatura giunga sotto di voi, o non lontano da voi, arriverà al vostro orecchio il rumore della rottura già avvenuta a varie miglia di distanza da voi: conciossiachè il suono è almeno dieci in dodici volte più veloce del terremoto; viaggiando esso suono con una celerità di 333 metri al secondo, se vi viene per aria; e più lestamente ancora se il suono vi arriva per mezzo della solida terra.

Questa è la cagione per la quale chi è in un luogo quieto sente il rombo, o le piccole vibrazioni del terremoto, vibrazioni che soglionsi comunicare anche ai vetri delle finestre, qualche secondo prima o dopo l'arrivo delle grandi oscillazioni, o scosse, per lo più orizzontali, qualche volta ancora verticali o sussultorie. Le persone di ordinaria sensibilità non avvertono il rombo precursore delle scosse se non quando queste sono a poche centinaia di metri di distanza, cioè pochi secondi prima che arrivino sotto ai loro piedi: ma quelle di molta irritabilità nervosa percepiscono il minaccioso tremore prima e più vivamente degli altri. Alcuni animali, dotati di un udito più squisito del nostro, mostransi sorpresi e spaventati del nuovo ed ignoto rumore, parecchi secondi

prima che l'uomo ne abbia sentore. Facile è il comprendere che, anche senza il pericolo, non probabile ma certamente possibile, di vederci in preda ad un' istantanea distruzione insieme con ogni persona a noi più caramente diletta, basta bene la circostanza che la Terra imprima un trèmito convulsivo al solido inviluppo della vastissima sua mole, perchè il suono ascendente dalle ime di lei viscere debba apparirci, quale veramente egli è, qualche cosa di cupo, profondo, misterioso, supremamente solenne.

LEZIONE LII

Nuova teoria delle maree

La luna è mantenuta nella sua rivoluzione ellittica attorno alla terra, rivoluzione la quale compiesi in 27 giorni, 7 ore, e 43 minuti, dall'attrazione della terra, e dalla forza centrifuga originata da quella rivoluzione. Similmente la terra è retta nella sua rivoluzione siderea attorno al sole, rivoluzione che compiesi in 365 giorni ed un poco più di un quarto di giorno, dalla combinazione della forza attrattiva del sole colla forza centrifuga che nasce da questo rivolgimento.

Se vi fosse la sola forza attrattiva, o centripeta, la luna precipiterebbe a capo fitto, voglio dire in linea retta, nella terra, ed ambedue nel sole. Se esistesse la sola forza centrifuga, la luna e la terra fuggirebbero via in linea retta, per la tangente della curva da loro de-

scritta, allontanandosi sempre più dal loro rispettivo centro di attrazione. Ma l'approssimata eguaglianza della forza centripeta e della centrifuga è cagione che la luna descriva una ellissi quasi circolare attorno alla terra, e la terra un'altra ellissi quasi circolare attorno al sole.

L'attrazione dei corpi è reciproca: come la terra attrae la luna, così la luna attrae la terra: come il Sole attrae la piccola terra, così la piccola terra attrae il gran luminare. Anzi le reciproche attrazioni sono eguali, e si bilanciano esattamente l'una coll'altra, perchè, più generalmente ancora, l'azione, in Meccanica, è sempre eguale e contraria alla reazione. Se non che l'effetto complessivo dell'attrazione esercitata dal piccolo corpo sul grande, disperso per tutta la massa di questo, riesce meno sensibile di quello che l'effetto che ha luogo nel corpo piccolo per l'attrazione esercitata sopra di lui dal corpo grande.

Ma l'attrazione, oltre all'essere direttamente proporzionale alle masse attraente ed attratta, è ancora inversamente proporzionale al quadrato delle loro distanze.

Perciò l'attrazione della luna, egualmente che quella del sole, è più attiva sopra le parti della terra momentaneamente più vicine ai due corpi attraenti, di quello che sopra il centro della terra; e l'attrazione di uno qualunque dei due luminari sopra il centro della terra è più attiva che sopra le parti della superficie terrestre opposte momentaneamente al luminare attraente, e perciò da lui più lontane. Ora siccome le varie parti della superficie terrestre, in virtù del moto diurno, sono alternativamente più lontane e più vicine alla luna ed al sole, queste vicende di posizioni relative hanno una parte esenziale nel grande fenomeno del flusso e riflusso del mare. Anzi la spiegazione ordinaria, ma altamente incompleta ed inesatta, delle maree, o flusso e riflusso del

mare, suppone che tutto il fenomeno dipenda dal moto diurno della terra attorno al suo asse, e dalle vicende che ne nascono nell'attrazione maggiore o minore dei due luminari sulle acque dell'oceano. Qui sta l'errore della vecchia teoria.

La causa completa delle maree dipende non solo dal moto diurno della terra attorno al proprio asse, ma altresì, ed in maniera esenziale, dal moto annuo della terra attorno al comune centro di gravità di lei e del sole, e dal di lei moto mensile attorno al comune centro di gravità di lei e della luna. Le maree infatti dipendono da una combinazione dell'attrazione dei due luminari colla forza centrifuga proveniente dalla rivoluzione della terra attorno al comune centro di gravità di lei e del sole, e più ancora dalla rivoluzione attorno al comune centro di gravità della terra e della luna. Infine le maree dipendono esenzialmente non soltanto dall' attrazione della luna e del sole per le acque del mare, ma dall'effetto complessivo dell'attrazione e della forza centrifuga sopra tutta la crosta terrestre.

Ma esponiamo prima i fatti quali stanno, poi tentiamone la spiegazione. Laplace ha giustamente notato che lo spettacolo del flusso e riflusso del mare è uno dei più imponenti offertoci della Natura. Collocatevi sopra una spiaggia mediocremente inclinata. Scorgerete che un flutto si avanza verso di voi di un tratto considerevole, indi ritirasi per un tratto alquanto più breve; poi egli avanzasi di nuovo di alcuni passi; ritirasi di nuovo ma non sino al segno dove erasi ritirato prima; indi egli risale ed avanzasi molto più in qua ancora, guadagnando sempre terreno in queste ineguali oscillazioni, tanto forse da venire infine a bagnarvi i piedi: e se non siete sollecito a ritirarvi, egli potrebbe trascinarvi seco e sommergervi. Ma dopo avere oscillato per breve tempo

incirca alla stessa altezza, le onde incominciano a ritirarsi a grado a grado, allontanandosi ed appressandosi a voi alternativamente, ma ora esse allontanansi ogni volta da voi un poco più di quanto elle eransi avanzate. Pei naviganti le maree son lungi dall'essere uno spettacolo di semplice curiosità: essi han bisogno di conoscerne approssimatamente la grandezza e le ore, per iscostarsi dal lido quando potrebbero rimanere in secco a bassa marea, e per entrare in porto od uscirne ad alta marea, se il fondo è insufficiente in tempo ordinario. Il ritardo fra l'istante del passaggio della corrispondente marea, ritardo il quale varia da un luogo ad un altro, ma è costante per un medesimo luogo, e che è notato nei libri di Nautica pratica, si chiama lo *stabilimento del porto*.

In servigio di coloro i quali per avventura ignorassero il preciso significato di queste due parole, *flusso* e *riflusso*, dirò che si chiama *flusso* il periodico alzarsi del mare per circa sei ore, innondando una parte della spiaggia, e *riflusso* il suo periodico calare od abbassarsi, per altre sei ore incirca; imperciocchè l'effetto a noi visibile dello alzarsi ed abbassarsi delle acque marine è il loro affluire nel primo caso, ed il loro rifluire o ritirarsi dal lido, nel secondo caso.

La distanza media della terra dal sole è prossimamente di sessanta raggi terrestri (Lez. XXIX, pag. 386): la distanza media della terra dal sole è circa 24,000 raggi terrestri, o quattrocento volte più grande che la distanza della luna dalla terra. I rapporti di distanze, da me enunciati testè con quelle semplici cifre, richiederebbero, onde essere più approssimati, una correzione di un mezzo per cento in più, rispetto alla distanza della luna, e forse del tre per cento in meno, rispetto alla distanza del sole: nondimeno io, per comodità di spiegazione, supporrò nella presente lezione che siano giuste

quelle cifre così semplici e così facili a maneggiarsi nel calcolo: le spiegazioni e le principali conseguenze della nuova teoria non soffrirebbero alcuna esenziale od importante modificazione, qualora a quelle più comode cifre se ne sostituissero altre più complicate, e più esatte. Dalla stima della distanza del sole dipende quella della sua massa. Supponendo la distanza di lui essere 400 volte maggiore di quella della luna, se ne trae che la massa del sole è circa ventotto milioni di volte più grande che quella della luna. Essendo adunque l'attrazione, come supponiamo, direttamente proporzionale alla massa, ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza, la terra sarà attratta dal sole

$$\frac{28,000,000}{400 \times 400},$$

ossia 175 volte più di quanto ella è attratta dalla luna. Parrebbe dunque che l'effetto del sole sulle maree dovesse essere 175 volte più forte che l'effetto della luna; ben lungi da ciò l'azione della luna sul flusso e riflusso è considerevolmente maggiore di quella del sole. Infatti il periodo tanto del flusso che del riflusso, non è esattamente di sei o di dodici ore, qual sarebbe se il sole fosse l'unico o principale regolatore delle maree; ma è, in media, di sei ore, venticinque minuti e ventinove secondi, cioè un quarto di giornata lunare, ossia un quarto del tempo impiegato dalla luna, nella combinazione del suo moto reale ed apparente attorno alla terra, fra il passaggio della luna stessa per un dato meridiano, ed il susseguente passaggio.

Più veramente la marea ascendente suol occupare alcuni minuti di meno che la marea discendente; ma il tempo complessivo dell'una e dell'altra è una mezza giornata lunare. Come in tutte le grandezze suscettibili di un valor massimo e minimo, l'aumento e la diminu-

zione della marea, verso quei limiti estremi, sono proporzionali ai quadrati de' tempi trascorsi dall' istante dell' alta o della bassa marea.

Le maggiori maree, quindi il maggior dislivello delle acque sopra o sotto il livello medio del mare, in ogni mese lunare, avviene alle *sizigie,* cioè a luna nuova ed a luna piena, allorchè cospirano insieme l' influenza del sole e della luna. Più veramente le maggiori maree sogliono avvenire un giorno e mezzo dopo l' istante della luna nuova, o della luna piena. Le minori maree, per lo contrario, avvengono nelle *quadrature*, o più ordinariamente un giorno e mezzo dopo le quadrature, o primo e terzo quarto di luna, quindi sette in otto giorni dopo le massime maree di ciascun mese lunare.

La marea che succede al passaggio della luna pel meridiano superiore è precisamente eguale a quella che ha luogo dodici ore e venticinque minuti prima o dopo, cioè al passaggio della luna pel meridiano inferiore, tranne la differenza dovuta al progressivo aumento o diminuzione delle maree nello approssimarsi l'epoca delle sizigie o delle quadrature.

Dalle esposte circostanze risulta già palese il fatto che la luna ha una parte preponderante nel fenomeno delle maree.

« *Luna, romito, aereo*
Tranquillo astro d' argento,
Come una vela candida
Navighi il firmamento;
E in tua carriera antica,
Come una dolce amica,
Segui la terra in ciel.
La terra, a cui se il limpido
Tuo raggio si avvicina
Ti sente, e con un palpito
Gonfia la sua marina. »

Dal rapporto fra le altezze delle maree massime, allorchè le azioni della luna e del sole cospirano, e le altezze delle maree minori, quando le influenze dei due luminari sono opposte, si è dedotto che l'azione diretta della luna sulle maree è circa due volte e un quarto più forte che quella del sole. Le massime maree in un anno od in un secolo avvengono allorchè le sizigie combinano il più prossimamente che si possa cogli equinozii e col perigeo (minor distanza dalla terra) tanto della luna che del sole. Le maree sono quasi esattamente eguali nel passaggio della luna pel meridiano superiore, come dodici ore e venticinque minuti più tardi, allorchè ella passa pel meridiano inferiore: sono pure quasi esattamente eguali a luna nuova ed a luna piena.

Chiameremo per brevità dislivello o marea totale la differenza totale di altezza dall'alta marea alla susseguente bassa marea. Ora questo dislivello nelle epoche delle sizigie sta al dislivello che ha luogo nelle quadrature, incirca come tredici a cinque. Nei laghi la marea è affatto insensibile. Nel Mediterraneo, che è troppo piccolo in paragone della vastità della superficie terrestre, e non comunica coll'Oceano se non per mezzo dello stretto di Gibilterra, la marea esiste realmente, ma così piccola che la maggior parte dei marinai non ci badano, perchè la confondono colle alterazioni irregolari prodotte dal vento. La marea è però di diversi centimetri tanto sulle coste meridionali dell'Italia, come sulle coste settentrionali dell'Affrica. Ad Algeri, per esempio, l'amplitudine media della marea totale nelle sizigié è di 88 millimetri: qnindi sarà prossimamente 33 millimetri nelle quadrature, e sei centimetri la marea totale media.

Considerevolmente più sensibile è la marea nell'Adriatico, benchè questo non sia che un golfo del Mediterraneo; e segnatamente verso l'estremità settentrionale

del golfo. Quando le alte maree combinano con un forte sirocco, la piazza di San Marco a Venezia è inondata. Rimane poi a vedersi se l'afflusso straordinario delle acque, al di sopra dell'ordinario segno delle alte maree, sia veramente dovuto al vento, ovvero se quel vento ed il flusso straordinario non abbiano una causa comune.

Sulle coste del grande Oceano ed all'Avana, l'altezza media delle maree totali è un mezzo metro. Ma di gran lunga maggiore è dessa, per cause eccezionali, sui lidi Atlantici dell'Europa e dell'America settentrionale. Questo fatto, agevole a spiegarsi, almeno in modo generico, colla nuova teoria, come vedremo, attagliasi male alla vecchia, secondo la quale le maree dovrebbero esser maggiori nell'Oceano Pacifico che nell'Atlantico.

Nel porto di Brest, presso la punta più occidentale della Francia, le maree totali medie sono 4.^{m} 31; le maree totali massime al tempo delle sizigie, e di luna perigea e sull'equatore, sono almeno 6.^{m} 72. A Granville, distante di soli due gradi della circonferenza terrestre da Brest, la marea media totale è di otto metri; la marea totale massima è di quattordici metri. Ma il luogo delle maggiori maree note è la baia di Fundy, nella latitudine di 45° sulle coste occidentali dell'America settentrionale. Ivi la massima marea straordinaria innalzasi sino a trenta metri al di sopra della bassa marea che ha luogo sei ore prima o sei ore dopo.

Veniamo omai alla nuova teoria, la quale serve a dar ragione dei principali fatti dianzi esposti, e di altri ancora. A voler comprendere quanto grave sia il torto della vecchia teoria nel non prendere in considerazione la forza centrifuga, dovuta ai moti di traslazione della terra, quale una delle due principali cause del flusso e riflusso del mare, e nel pretendere di spiegar tutto colle sole differenze di attrazione, figuriamoci che il sole e la luna

Digitized by Google

girassero in realtà attorno alla terra, come sembrano farlo in apparenza, e che essi attraessero pure la terra come veramente fanno, ma essendo contrastata questa forza di attrazione da una verga rigida ed inflessibile, la quale impedisse tanto l'avvicinarsi che l'allontanarsi della terra dal sole, o dalla luna. Vi sarebbe invero un periodo di alta e di bassa marea, ma le cose succederebbero ben diversamente da quanto ora avviene. Vi sarebbe alta marea in un luogo quando il sole passa pel meridiano superiore di quel luogo: ma al punto diametralmente opposto, invece di esservi alta marea, come è ora il fatto, sarebbevi bassa marea: laonde l'intervallo fra un'alta marea ed un'altra sarebbe di 24 ore, invece di 12 qual è: imperciocchè quando il luminare attraente è presso allo zenit di un luogo, la sua azione contrasta quella della gravità, e tende ad alzare le acque; ma quando il luminare è al nadir, la sua attrazione cospira colla gravità per deprimere il livello del mare, e non già per alzarlo. Ma, per eccessivo compenso alla maggiore rarità delle maree che si avrebbero in questo caso ipotetico, esse sarebbero incomparabilmente più forti che ora non sono. Ammessa l'attual massa e distanza del sole da noi, e quindi la stessa attrazione, ma prescindendo dalla forza centrifuga che ne corregge gli effetti, le maree prodotte dal sole sommergerebbero e scoprirebbero alternativamente ogni 24 ore tutta la superficie della terra abitabile, ad eccezione delle più alte montagne.

Avremo invece la chiara ed esatta spiegazione dei fatti capitali delle maree, prendendo in considerazione non solo la forza attrattiva del sole e della luna, ma altresì la forza centrifuga che nasce dal movimento reale o virtuale della terra attorno a ciascuno di quei due luminari. La nuova teoria delle maree si riduce in sostanza al seguente teorema:

L'alta marea dalla parte del sole o della luna è dovuta alla prevalenza della forza centripeta sulla centrifuga: l'alta marea dalla parte opposta è dovuta ad una egual prevalenza della centrifuga sulla centripeta.

Per agevolare la dimostrazione, indaghiamo dapprima quali maree vi dovrebbero essere per la sola azione del sole. Lo imagineremo, per maggiore semplicità, sull'equatore, e cercheremo il suo effetto sui mari prossimi all'equatore stesso.

Figuriamoci di più, nel piano dell'equatore, due tubi eguali, di pareti inflessibili, uniti fra loro ad angolo retto, e comunicanti nel centro della terra; ripieni di acqua od altro fluido omogeneo; ed uno di essi abbia il sole allo zenit, e l'altro conseguentemente abbia il sole all'orizzonte.

La forza centrifuga proveniente dal moto diurno della terra attorno al proprio asse non influisce affatto sull'equilibrio o disequilibrio del liquido in questo scifone; ed in generale non influisce punto nè poco sulle maree, perchè la forza centrifuga del moto diurno agisce del pari sopra tutti i punti dell'equatore o di un parallello. Anzi per facilitare le nostre indagini, supponiamo per ora che la terra sia priva di moto rotatorio, ma che ella aggirisi però attorno al sole con un movimento circolare annuo.

Cotesto moto circolare genera di necessità una forza centrifuga, la quale in complesso è quella che si richiede per controbilanciare la forza centripeta, ed impedire che la terra cada nel sole. Ma in genere la forza centrifuga è proporzionale alla massa ed al quadrato della velocità assoluta, ed in ragione inversa del raggio di curvatura dell'arco percorso ad ogni momento (Lez. XV, pag. 181). Siccome però noi qui supponiamo costante la velocità

angolare, la velocità assoluta sarà proporzionale alla distanza; e quindi il quadrato di tale velocità diviso pel raggio, o per la distanza dal sole, sarà semplicemente proporzionale a questa distanza. Chiamiamo per brevità forza *solipeta* l'attrazione solare, ossia la forza centripeta verso il sole, e forza *solifuga* la forza centrifuga generata dal moto di rivoluzione attorno al sole. La forza *solifuga*, adunque, di ogni gocciola d'acqua nel nostro tubo verticale, sarà semplicemente proporzionale alla distanza di quella gocciola dal sole. Nel tubo orizzontale, essendo dappertutto eguale la distanza dal sole, la forza solifuga sarà costante, ed eguale alla solipeta; altrimenti la terra non descriverebbe più, come per ipotesi essa descrive, un circolo attorno al sole.

Per lo contrario l'attrazione del sole per ogni gocciola nel tubo verticale varia in ragione inversa del quadrato della distanza di quella gocciola dal centro del sole. Vogliam supporre che la distanza fra il sole ed il centro della terra sia precisamente di ventiquattromila raggi terrestri. Se dunque noi rappresentiamo provvisoriamente col numero

$$24{,}000,$$

l'attrazione del sole per una gocciola situata al fondo del nostro tubo verticale, o al centro della terra, l'attrazione solare per un' egual gocciola alla cima del tubo, la qual gocciola è di un intero raggio terrestre, ossia un ventiquattromillesimo, più vicina al sole, dovrà rappresentarsi colla cifra *ventiquattromila più due* =

$$24{,}000 + 2;$$

imperciocchè le piccole differenze dei quadrati crescono in un rapporto doppio di quello dei loro lati (*).

(*) Si dimostra eseguendo lo sviluppo del binomio neutoniano, e trascurando il terzo termine come piccolissimo a fronte degli altri due.

Siccome al centro della terra la forza *solifuga,* ossia la centrifuga dovuta al moto annuo, è precisamente eguale alla centripeta verso il sole, noi dobbiam rappresentare la forza solifuga della gocciola al centro con quello stesso numero

24,000;

ma alla cima del tubo la distanza dal centro del moto circolare della terra attorno al sole è un ventiquattromillesimo più piccola che al centro della terra; dunque la forza solifuga di una gocciola dovrà rappresentarsi col numero *ventiquattromila meno uno* =

24,000 — 1.

Ma fra ventiquattromila più due, e ventiquattromila meno uno, la differenza è tre, ossia l'ottomillesima parte di ventiquattromila. Alla cima del nostro tubo verticale, pertanto, la forza solipeta vince di un ottomillesimo la solifuga.

Le molecole acquee, o di altra materia, tanto nel tubo orizzontale che nel verticale, sono pure in preda all'attrazione della massa terrestre, ed alla forza, dirò così, *terrifuga,* cioè alla forza centrifuga proveniente dalla rotazione diurna. La risultante di coteste due forze, delle quali l'attrazione è la maggiore, si chiama gravità. Ora la gravità è uguale in tutti e due i tubi comunicanti; laonde equilibransi le contrarie pressioni delle due colonne per quanto queste pressioni provengono dal peso delle due colonne. Ma nel liquido che riempie il tubo verticale avvi di più l'effetto della forza solipeta, ossia dell'attrazione del sole, che contrasta alla gravità, e l'effetto della solifuga, la quale invece aiuta la gravità collo spingere le gocciole verso il centro della terra: ma la forza solifuga, in questo posto, è alquanto più debole della solipeta, che contrasta alla gravità: dunque la pressione primitiva della colonna fluida nel tubo orizzontale vincerà

la pressione primitiva della colonna fluida, supposta di egual lunghezza del tubo verticale, e costringerà quest'ultima colonna ad alzarsi un poco, mentre di altrettanto accorcierassi la colonna orizzontale, fino a che la differenza delle due lunghezze basti a stabilire l'equilibrio. Così, se mettete dell'olio e dell'acqua nei rami comunicanti di uno scifone ordinario, è certo che l'olio, nel suo ramo, alzerassi al di sopra del livello dell'acqua nell'altro ramo.

Tentiamo di scoprire ben anche quale e quanto sarà questo dislivello nei due grandi tubi tellurici da noi imaginati. Non ci basta l'aver trovato che alla cima del tubo la forza solipeta è di un ottomillesimo superiore alla solifuga; abbiam bisogno di conoscere altresì il rapporto di queste due forze colla gravità, e le loro differenze reciproche negli altri punti del tubo, poichè queste loro differenze variano colla distanza. Per giugnere a conoscere la loro differenza media, o differenza complessiva, in tutta la lunghezza del tubo verticale, richiedesi il calcolo integrale (Lez. III). Questo ci conduce a scoprire che l'effetto complessivo della forza centrifuga dovuta al moto annuo della terra attorno al sole, in tutta la colonna verticale dal centro della terra sino alla superficie della terra stessa, essendo il sole allo zenit, è uguale a quella che si avrebbe se tutta la massa liquida della colonna fosse alla distanza di un mezzo raggio terrestre dal centro della terra, od un quarantottomillesimo di meno di quello che s'ella fosse tutta raccolta nel centro stesso. Il medesimo calcolo integrale ci scopre che l'effetto complessivo della forza attrattiva del sole sopra tutta la colonna fluida verticale è un ventiquattromillesimo di più di quello che si avrebbe se tutta la massa della colonna fluida fosse raccolta nel centro della terra. Ne segue che l'eccesso della forza solipeta, in tutta la

colonna verticale dalla superficie al centro, sopra la forza solifuga, sarà un ventiquattromillesimo più un quarantottomillesimo, ossia una sedicimillesima parte della intera forza solipeta o solifuga cui avrebbe la colonna se tutta la sua massa fosse raccolta nel centro della terra.

È facile d'altronde il confrontare la gravità coll'effetto dell'attrazione del sole per una massa distante da lui quanto lo è il centro della terra. La gravità, prescindendo per semplicità dalla forza centrifuga dovuta al moto diurno, è l'effetto dell'attrazione della massa terrestre, pei corpi posti alla di lei superficie, cioè distanti dal centro un raggio terrestre. La massa del sole è 355,000 volte più grande che la massa terrestre; ma la sua distanza è ventiquattromila raggi terrestri; ne segue che un corpo terrestre è attirato direttamente dal sole con una forza uguale incirca alla mille e seicentesima parte della gravità di quel corpo. Ne segue ancora che il peso cui avrebbe la massa fluida della nostra colonna verticale, s'ella fosse portata alla superficie, sarebbe

$$1600 \times 16000 = 25{,}600{,}000$$

volte maggiore di quella diminuzione cui soffre il uo peso per l'effetto riunito di quelle due opposte forze perturbatrici, solipeta e solifuga.

Per far dunque equilibrio a questa risultante perturbatrice si richiederà un piccolo allungamento od alzamento della colonna verticale, ed un eguale accorciamento della colonna orizzontale, ossia un total dislivello fra loro, eguale incirca alla ventiseimilionesima parte della lunghezza che spetterebbe a ciascuna di loro, se non vi fossero le due forze perturbatrici. La lunghezza sarebbe il raggio della terra che è prossimamente:

6,366,000 *metri.*

Il dislivello totale adunque fra l'alta e la bassa marea, prodotto dalla sola influenza del sole, deve essere

prossimamente di 246 millimetri, o quasi un quarto di metro (*).

Adesso dobbiamo dar ragione dell'alta marea che accompagna il passaggio del luminare attraente pel meridiano inferiore, eguale a quella che accompagna il cul-

---

(*) Ecco, abbreviatamente, la traccia del calcolo.

Sia M la massa del sole, o più generalmente dell'astro perturbatore;

m la massa della terra, o più generalmente la massa del corpo perturbato, o globo liquido, di cui si tratta di stimare la marea;

R il raggio dell'orbita circolare, o la distanza fra i centri dei due corpi;

r il raggio della terra, o corpo perturbato, e quindi la lunghezza totale del supposto tubo verticale;

dx la grossezza di uno strato infinitesimale della colonna liquida;

x la distanza da questo strato al centro della terra, o corpo perturbato.

K, K' due coefficienti costanti.

La forza solipeta dello strato dx sarà

$$\frac{K\,M\,dx}{(R-x)^2}.$$

Ora

$$\int\frac{dx}{(R-x)^2}=\frac{1}{R-x}+costante.$$

Estendendo quest'integrale da $x=o$ sino ad $x=r$, si scorge che l'attrazione del sole per tutta la colonna liquida entro il tubo sarà

$$\frac{K\,M\,r}{R^2-r\,R}.$$

La forza solifuga dello strato elementare dx sarà

$$K'\,(R-x)\,dx.$$

minare dell' astro pel meridiano superiore. Continueremo anche per un poco, per facilità e chiarezza di ragionamento, a cercare gli effetti di uno soltanto dei due astri regolatori, cioè del sole. Imaginiamoci un altro scifone, eguale al precedente, ancor esso con due rami fra loro perpendicolari, e posti nel piano dell' equatore, ma dei

---

E siccome, fatto $x = o$, la solipeta eguaglia la solifuga, dev' essere

$$K'.R\,d\,x = \frac{K\,M\,d\,x}{R^2};$$

quindi

$$K' = \frac{K\,M}{R^3}.$$

Dunque la forza solifuga dello strato dx sarà

$$\frac{K\,M}{R^3}\,(R - x)\,dx;$$

ed integrando si avrà quella di tutta la colonna liquida =

$$\frac{K\,M\,r}{R^3}\left(R - \frac{1}{2}\,r\right).$$

In questa colonna liquida la forza solifuga cospira colla gravità, e la solipeta vi si oppone. La differenza della solipeta e della solifuga, fatte le riduzioni, si esprime per

$$\frac{K\,M\,r^2}{R^3\,(R - r)}\left(\frac{3}{2}\,R - \frac{1}{2}\,r\right).$$

Ma siccome R è grandissimo in paragone di r, la precedente espressione diviene prossimamente

$$\frac{3\,K\,M\,r^2}{2\,R^3}.$$

Sia q l' altezza di una colonna dello stesso liquido e

quali uno, cui chiameremo per più facile distinzione il ramo verticale, abbia il sole non allo zenit, come nel caso precedente, ma al nadir. Ci tocca ad indagare se e quale dislivello sia per avvenire in questi altri due rami, per la sola combinazione dell'attrazione solare colla forza centrifuga, generata dal moto annuo della terra attorno al sole. Ma il calcolo è ora divenuto ben facile; è il medesimo del precedente caso, cangiando soltanto qualche segno più in meno, e viceversa.

---

della stessa sezione, che stando alla superficie del corpo perturbato, o ad una distanza r dal centro, può far equilibrio col solo suo peso, alla forza perturbatrice di tutta la colonna.

Dapprima prescindiamo dalla forza centrifuga dovuta al moto diurno della terra, o massa m; il peso della colonna q sarà

$$\frac{K m q}{r^2} = \frac{3 K M r^2}{2 R^3};$$

quindi

$$q = \frac{3 M r^4}{2 m R^3}.$$

Nel caso speciale della marea che sarebbe prodotta dal sole nella massa terrestre, se questa fosse tutta liquida ed omogenea,

$$\frac{M}{m} = 355000;$$

$$r = 6,366,000 \textit{ metri};$$

$$R = 24,000 \; r;$$

quindi

$$q = 0.^{m}\ 245.$$

Più prossimamente il dislivello totale fra l'alta e la bassa marea, prodotta dal sole nella terra, diverrebbe

$$0.^{m}\ 246,$$

tenendo a conto la forza centrifuga prodotta dal moto diurno.

Digitized by Google

Imperciocchè la forza attrattiva del sole, o solipeta, e la forza centrifuga dovuta al moto annuo, elidonsi anche qui esattamente nel ramo orizzontale; ma nel ramo verticale inferiore, a cagione della maggior distanza dal sole, la solipeta, invece di superare la sua antagonista come nel ramo verticale superiore, ne è superata; ma le differenze, prescindendo dalla sostituzione del segno sottrattivo al sommatorio, sono le medesime; cioè la forza solipeta nel ramo verticale inferiore è complessivamente un ventiquattromillesimo più debole che nel ramo orizzontale, mentre la solifuga, nel ramo verticale inferiore è un quarantottomillesimo più forte che nel ramo orizzontale, dove la solipeta eguaglia la solifuga: quindi la differenza fra la solipeta e la solifuga nel ramo verticale inferiore è, come dianzi, di un sedicimillesimo; se non che qui la differenza è a favore della forza solifuga. Ma in questo caso è la forza solifuga quella che contrasta alla gravità; e per ristabilire l'equilibrio fra i due rami del sifone, fa d'uopo che anche qui la colonna verticale si alzi di una quantità eguale a quella del primo caso, cioè prossimamente di un quarto di metro.

Date ora al globo, oltre il moto annuo attorno al sole, anche il moto diurno attorno al suo asse. Questa rotazione diurna, come già avvertii, non àltera punto l'altezza delle maree prodotte dalla combinazione dell'attrazione solare colla forza centrifuga generata dal moto annuo della terra attorno al sole: ma il moto diurno fa sì che sei ore dopo che un dato punto dell'equatore ebbe il sole allo zenit, lo avrà all'orizzonte, poi dopo altre sei ore l'avrà al nadir; dopo altre sei ore lo avrà di nuovo all'orizzonte; ed infine dopo altre sei allo zenit ancora: insomma le alte e le basse maree, prodotte dal sole, si alterneranno di sei in sei ore, ed il dislivello to-

Digitized by Google

tale fra l'alta e la bassa marea prodotta dal sole sarà prossimamente di 246 millimetri, o poco meno di un quarto di metro. È facilissimo poi il comprendere che l'altezza della marea solare diminuirà dall'equatore ai poli, e sarà nulla del tutto pei poli nei giorni equinoziali.

Dopo di aver considerato le maree prodotte dalla sola azione del sole, è più facile il trovare quali saranno le maree dovute all'influenza lunare. Il processo di ragionamento è sostanzialmente il medesimo, purchè a renderlo più facile noi ci gioviamo del teorema neutoniano, secondo il quale il movimento relativo di un corpo rispetto ad un altro, che lo attrae e ne è attratto in ragione inversa del quadrato delle distanze, è il medesimo come se il secondo corpo fosse immobile, ed il primo si aggirasse attorno ad esso, benchè il movimento assoluto di tutti e due i corpi compiasi attorno al loro comune centro di gravità.

Ciò posto, le maree di tutta la massa fluida terrestre, prodotte dall'attrazione della luna combinata colla forza centrifuga dovuta al moto reale o virtuale della terra attorno alla luna, devono essere simili a quelle prodotte dall'attrazione del sole e dal moto della terra attorno al sole; ed il rapporto delle maree di origine lunare a quelle di origine solare deve essere il medesimo che quel delle masse divise per le differenze del quadrato delle distanze, quindi approssimativamente in ragione inversa del cubo di tali distanze. Ond'è che essendo la massa del sole ventinove milioni di volte maggiore della massa lunare, ma ad una distanza da noi quattrocento volte più grande, l'altezza della marea dipendente dalla luna sarà incirca due volte e un quarto più grande che la marea dipendente dal sole; quindi di un'altezza media prossimamente eguale a cinquantasei centimetri.

Avvi una circostanza, fortunata pei calcolatori, la

quale generalmente si verifica nell'analisi, e che grandemente agevola in molti casi il calcolo infinitesimale, senza ch'egli cessi di essere rigoroso ne'suoi risultati, come essa rende comodi pure ed approssimatamente esatti i computi nelle scienze di osservazione, in particolar modo dell'Astronomia. La fortunata circostanza è questa: che le cause separate di piccole variazioni, nelle grandi quantità variabili, sovrappongono i loro effetti, senza confonfonderli insieme in modo apprezzabile. L'altezza delle maree, prodotte separatamente dal sole e dalla luna, sono ad ogni modo una picciolissima cosa in paragone della profondità dell'Oceano visibile, e più ancora dell'Oceano plutonico. Perciò noi possiam ritenere alla sicura che quando l'influenza lunare cospira con quella del sole per produrre le maree, come avviene nelle sizigie, la marea totale, o dislivello fra l'alta e la bassa marea, sarà la somma dell'ordinaria marea totale dovuta al sole e di quella dovuta alla luna; nelle quadrature l'altezza della marea totale sarà la differenza fra la marea dovuta al sole e quella dovuta alla luna: quindi la marea totale media delle sizigie, la marea totale media generale, e la marea totale media delle quadrature, staranno fra loro rispettivamente incirca come

13 : 9 : 5;

Perciò la prima	sarà incirca	0.^{m} 81
la media	id.	0.^{m} 56
la terza	id.	0.^{m} 31.

Questi numeri differiscono poco dalle vere altezze delle maree nei grandi mari aperti sotto la zona torrida; la differenza però è in questo senso: che i nostri numeri trovati col calcolo sono alquanto maggiori delle vere altezze osservate nelle maree del grande Oceano; e così deve essere. Imperciocchè tutti i calcoli precedenti si riferiscono al caso ipotetico che la terra fosse una massa

liquida ed omogenea. Ben sappiamo però che il fatto dilungasi da tale supposto, perchè la densità media dell'Oceano plutonico è cinque volte e mezza maggiore della densità del mare ordinario, ed interviene fra l'uno e l'altro una solida corteccia: tuttavolta è facile il comprendere che gli effetti reali e complessivi dell'attrazione e della forza centrifuga sopra la massa eterogenea della terra non devono essere un gran che diversi da quelli testè calcolati per l'ipotesi più semplice.

A mostrare che la maggior parte della massa terrestre è realmente fluida, oltre gli argomenti fisici e geologici, vale ancora la prossima eguaglianza della gravità in tutti i punti di un medesimo paralello, eguaglianza manifestata dalle oscillazioni dei pendoli, e dal leggero ma progressivo e quasi perfettamente regolare aumento della gravità dall'equatore ai poli, come è richiesto dalle leggi matematiche dell'attrazione e della forza centrifuga, applicate alla forma sferoidale del globo terracqueo. Le leggerissime deviazioni da una rigorosa eguaglianza della gravità in tutti i punti di uno stesso paralello si spiegano colle sensibili ineguaglianze che vi sono nella grossezza e nella densità della corteccia; le ineguaglianze però della gravità sarebbero incomparabilmente più rilevanti se la maggior parte del globo fosse solida.

Ma la solida corteccia è al certo dotata di un'elasticità sua propria. Chiunque è stato sopra un campanile quando vi si suonano le campane a tutto andare, ha potuto sentire le oscillazioni della torre. Gli archi dei più solidi ponti di granito, posti a prova col maggior peso cui possano esser destinati a sostenere, un battaglione di fanteria, schiacciansi di qualche millimetro, ma, passato il carico, rialzansi da sè alla primiera forma. È chiaro adunque che la crosta terrestre ubbidirà più o meno alle variate pressioni del sottoposto oceano pluto-

Digitized by Google

nico, ed ancora direttamente alle medesime cause di attrazione e di forza centrifuga, le quali muovono la massa liquida. Se la corteccia fosse perfettamente cedevole, le maree o gonfiamenti reali sarebbero quali le abbiamo calcolate, ma non ci riuscirebbero sensibili, perchè il lido alzerebbesi ed abbasserebbesi precisamente della stessa quantità dell' alzarsi od abbassarsi del mare. Attesa però l'imperfetta arrendevolezza della crosta, le maree a noi visibili saranno la differenza fra le vere maree generali della liquida massa terrestre, e le maree parziali ed imperfette della solida crosta.

L'atmosfera ha senza dubbio la sua propria marea, ma questa non può che difficilmente riuscirci sensibile. Il gonfiamento ed abbassamento periodico dell' atmosfera, di sei in sei ore incirca, sarà forse, per termine medio, non maggiore di un mezzo metro in altezza, come la marea del grande Oceano Pacifico: ora l'aumento di un mezzo metro di altezza nell' aria trae seco l'abbassamento di meno di un ventesimo di millimetro nel barometro. Una sì piccola variazione confondesi facilmente colle variazioni diurne assai più grandi prodotte da altre cause. Potrebbesi forse render sensibile con una lunga serie di osservazioni comparate, e tali da eliminare quasi totalmente, per mutua compensazione, le altre cause perturbatrici.

L'antica teoria delle maree, la quale trovasi ripetuta in centinaia di trattati scientifici e popolari, andava discretamente bene per un quarto appena, e decisamente male per gli altri tre quarti. Essa dava ragione, benchè non intera nè esatta, dell' alta marea visibile nei luoghi direttamente sottoposti al luminare attraente; ma metteva un sofisma al posto di una buona spiegazione dell' alta marea contemporanea che si osserva agli antipodi; ignorava poi completamente la marea che di necessità ha

Centurioni Gio. Negoziante.
Cevasco Lorenzo, Bilanciaio.
Chichisola Ernesto, Negoziante.
Conte Avv. Lorenzo.
Cristofoli Dottor Pietro.
Dagnino Felice, Commerciante.
Dall' Orto D. H.
D' Ayala Prof. Giuseppe.
De Marini Dottor Giacomo.
Devigne Emilio.
Du Jardin Dottor Giovanni.
Eredi Michele.
Fabrini A. Impiegato.
Frioli Leopoldo.
Galleppini Tommaso.
Galli Gallo, Segretario dell' Intendenza delle Finanze.
Geriola Gio. Battista.
Gorgoglione notaro Giacomo.
Grisci Silvano.
Lagorara Stefano.
Lopez Leopoldo.
Malatesta Luigi.
Mancini Giov. Macchinista.
Marre Giuseppe.
Mantineti Francesco.
Mongini Luigi.
Mosto colonnello Antonio.
Narratone Domenico.
Oliva Nicola.
Oselli Carlo.
Parodi G. A. del fu Ignazio.
Parodi Luigi Leopoldo.
Parodi Dottor Pier Paolo.
Picchiotino Giuseppe.
Pittaluga Carlo.
Proja Giuseppe, Negoziante.
Raffetto Angelo, Farmacista.
Rivoli Gaetano, Impiegato.
Roccagliolo Giulio Cesare.
Scarlatti Placido.
Solimano Luigi.
Tassara Michele.
Tonazzi Vittorio.
Vivaldi Pasqua.

IMOLA

Alessandretti Alessandro.
Bertini Bernardo.
Biblioteca Comunale.
Biblioteca Popolare.
Bucci G.
Cerchiari Ing. Demetrio.
Cerchiari Tommaso.
Codronchi Conte Giovanni, Sindaco d' Imola, e deputato al Parlamento.
Landi Pietro.
Lolli Attilio.
Lolli Dottor Luigi.
Marani G.
Nerozzi Ercole.
Rossi Domenico.
Vacchi Luzzi Antonio.
Zampieri Gamberini Agostino

LENTINI (Sicilia)

Incontro Alfio.

LONDRA

Bonomi Cav. Giuseppe.
Sineo Prof. Cesare.
Vivanti Anna.

Rettificazioni ed Aggiunte all' Elenco precedente

ANCONA

Augius Alfredo.
Ambrosini Ing. Filippo.
Bagliani Avv. Augusto.
Blasi Ercole.
Bosdari Conte Gio. Battista.
Bruni Bassano.
Benedetti Ing. Francesco.
Bonetti Benvenuto.
Confidati Italiano.
Cori Avv. Ugo.
De Giovanni Ing. Bernardo.
Fazioli Comm. Conte Michele.
Fenocchio Marco Filippo.
Gabba Luigi.
Gabrielli Cesare.
Gabrielli Virginio.
Ginnari Casimiro.
Giurovich Odoardo.
Grassini Odoardo.
Minù Paolo.
Moruzzi Domenico.
Mutarelli Giuseppe.
Paria Germano.
Pratilli Lorenzo Notaro.
Ranieri Oreste.
Ruva Ing. Comm. Dionigi.
Santoni Alessandro.
Speranza Avv. Giuseppe.
Tartaglini Cermatori Cesare.
Tesei Benedetto.
Veschi Avv. Costantino.
Vidau Ercolano.

PIEVE DI CENTO

Rizzoli Marco, Sindaco.

INDICE DEL QUARTO FASCICOLO

N. B. *Il compimento* di questa lezione occuperà *il principio del seguente fascicolo.*

Prezzo d' ogni Fascicolo Lire **2, 50.**